Oltre il Bitcoin: il futuro delle valute virtuali

Le Scienze

Marzo 2018 € 4,90

www.lescienze.it

edizione italiana di Scientific American

Prevedere le pandemie

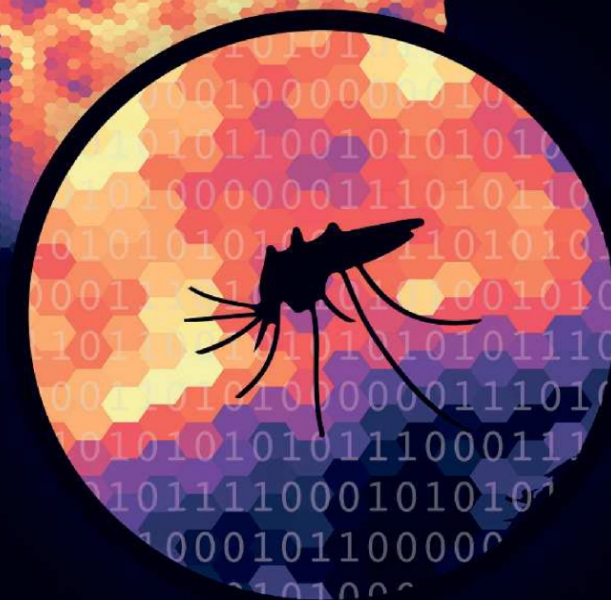
Nuovi metodi di simulazione al computer calcolano con precisione tempi e modi di diffusione di malattie contagiose

Astrofisica

A caccia delle ipotetiche particelle che potrebbero spiegare la massa nascosta dell'universo

Medicina

Come contrastare le reazioni immunitarie che possono vanificare l'azione di alcuni farmaci

POSTE ITALIANE SPED. IN A.P. - D.L. 353/2003 CONV. L. 46/2004, ART. 1, C. 1, DCB - ROMA
RIVISTA MENSILE - NUMERO 595 - 1 MARZO 2018

Un capolavoro di concisione e chiarezza, dall'astrofisico americano più amato e celebrato

Sapete davvero come funziona una bicicletta?

IN COPERTINA

L'epidemiologia computazionale, che permette di prevedere l'andamento della trasmissione di una malattia nello spazio e nel tempo, di recente ha conosciuto un'accelerazione notevole. (Cortesia N. Samay, Northeastern University)

Sommario

marzo 2018 numero 595

Fotografia di Ian Allen

Sommario

10

89

91

Rubriche

SCIENZA NEWS

cortesia NASA/AMS Collaboration (*esperimento AMS*); Nelson_A_Ishikawa/iStock (*cascata*); BlakeDavidTaylor/iStock (*saliera*)

A preservare la biodiversità attrezzando i luoghi con risorse e habitat per gli insetti e le specie utili (siepi, casette).

Ad accompagnare i nostri produttori nella protezione delle api mediante un programma di formazione e di condivisione delle buone pratiche nel frutteto.

A privilegiare i metodi di lotta naturali e ad utilizzare i prodotti biologici o di sintesi solo in maniera puntuale, in funzione dei bisogni del frutteto.

A garantire una produzione di qualità 100% certificata da un ente indipendente, soggetta ad analisi nei frutteti e nelle stazioni di imballaggio.

Per maggiori informazioni visitate il sito:
www.pinkladyeurope.com

Molto più di una mela

di Marco Cattaneo

La Spagnola che verrà

Le pandemie non sono affatto un ricordo del passato

Albert Gitchell era un cuoco della mensa di Camp Funston a Fort Riley, in Kansas, un complesso militare dove 26.000 soldati dell'esercito degli Stati Uniti venivano addestrati per poi essere spediti in Europa, sul fronte della prima guerra mondiale.

La mattina dell'11 marzo 1918 Gitchell si presentò in infermeria con una forte emicrania, mal di gola e la febbre a 39,5. Per precauzione, fu ricoverato in una tenda dove si trovavano i pazienti con malattie potenzialmente contagiose. Ma il povero Albert aveva servito la cena a centinaia di commilitoni fino alla sera prima. Così poche ore dopo fu la volta del caporale Lee Drake, e poi del sergente Adolph Hurby. A metà pomeriggio i soldati ricoverati con gli stessi sintomi erano 107, che divennero 522 nel giro di una settimana.

Secondo le ricostruzioni più accreditate, Albert Gitchell fu il paziente zero della pandemia di virus influenzale di ceppo H1N1 che un secolo dopo tutti ricordiamo come «la Spagnola». A diffonderla, probabilmente, erano stati il pollame e i suini allevati nel campo per nutrire le truppe.

Ma allora perché Spagnola? Con l'arrivo dei soldati da oltre Atlantico, in Europa il virus cominciò presto a mietere vittime dentro e fuori dai campi di battaglia. Ma i governi dei paesi in conflitto non ne fecero menzione, per tenere alto il morale delle truppe. Così i primi a parlare liberamente dei devastanti effetti dell'epidemia furono i giornali della Spagna, che era rimasta neutrale. Di qui quell'appellativo di Spagnola, quando a Madrid la chiamavano *Soldado de Nápoles*, il soldato di Napoli, dall'aria di un'operetta, *La canción del olvido*, di gran moda in quel periodo. Ma questa è un'altra storia.

Secondo le stime, tra il 1918 e il 1920 la Spagnola ha colpito almeno 500 milioni di persone, causando da 50 a 100 milioni di morti, di gran lunga di più della Grande Guerra.

È naturale chiedersi che cosa succederebbe oggi, con i voli *low cost* e milioni di persone che si spostano ogni giorno da un capo all'altro del pianeta, se si ripresentasse un virus altrettanto aggressivo. Anche perché già in un paio di episodi, negli ultimi anni, le autorità sanitarie di tutto il mondo hanno lanciato l'allarme per potenziali pandemie.

Uno dei molti vantaggi rispetto a un secolo fa – oltre a farmaci efficaci e la possibilità di mettere a punto vaccini in tempi rapidi – è che oggi possiamo provare a prevedere come si diffonderà il contagio. In che modo? Ce ne parla Alessandro Vespignani a pagina 28. Grazie alla potenza degli strumenti di calcolo e a una straordinaria mole di dati possiamo descrivere, sia pure sommariamente, la mobilità di sette miliardi e mezzo di persone, e capire dove e quando un'epidemia potrebbe spostarsi: in altre parole, possiamo prevederne l'evoluzione. E sulla base di queste informazioni potremmo prendere decisioni in grado, da sole, di salvare milioni di vite umane.

Lezioni di prevenzione per la trasmissione dell'influenza aviaria H7N9 in una scuola di Chuzhou, in Cina, nel 2017.

ZUMAPRESS.com / AGF

Una Torre di Babele moderna

A richiesta ad aprile *Liberi di crederci,* di Walter Quattrociocchi e Antonella Vicini

In principio è stata una promessa di intelligenza collettiva. La nascita di Internet e delle sue applicazioni, per esempio il World Wide Web agli inizi degli anni novanta, presagiva un modo nuovo di creare e di disporre della conoscenza, senza più vincoli di spazio e di tempo. La trasmissione della memoria collettiva e la sua elaborazione non avrebbero potuto che trarre giovamento dalla velocità di comunicazione quasi in tempo reale tra gli utenti della rete, sparsi in ogni angolo del mondo. Uno dei più autorevoli commentatori di quegli anni, il filosofo francese Pierre Lévy argomentava: «Noi non siamo intelligenti che collettivamente grazie ai differenti saperi trasmessi di generazione in generazione. E Internet è semplicemente più potente della stampa, della radio e della televisione perché permette una comunicazione trasversale e un migliore utilizzo della memoria collettiva».

Poco più di vent'anni dopo però sembra che non sia rimasto molto della promessa iniziale di intelligenza collettiva, nonostante gli innegabili benefici portati dalla diffusione sempre più ampia di Internet a livello globale e dallo sviluppo di nuove applicazioni. Discussioni sui *social network* sempre più polarizzate, in cui cioè gli utenti si aggregano in gruppi contrapposti e impermeabili a una ponderazione degli argomenti degli avversari, diffusione, anche consapevole, di notizie false, ricerca continua di fonti di informazione che confermino il proprio punto di vista: sono tutte esperienze quotidiane per chi naviga in Internet, tra il Web e le reti sociali virtuali di vario tipo. In altre parole, dall'intelligenza collettiva siamo passati alla Torre di Babele. Ma come è potuto accadere?

Una risposta arriva da *Liberi di crederci*, un libro di Walter Quattrociocchi e Antonella Vicini in edicola a richiesta con «Le Scienze» di aprile e in vendita nelle librerie per Codice Edizioni. Il piano di analisi degli autori è duplice. Da una parte c'è il lavoro di ricerca sui social network che Quattrociocchi, a capo del Laboratory of Data Science and Complexity dell'Università Ca' Foscari di Venezia, porta avanti ormai da molti anni; dall'altro c'è il contributo di Vicini, che in qualità di giornalista conosce bene l'impatto di Internet su questa professione e sulle dinamiche in atto nel mondo dell'informazione, con gli inevitabili riflessi sulla vita e sulla salute delle democrazie.

Non c'è un unico argomento che possa rispondere alla domanda: «Come è stato possibile?» Di certo un ruolo l'ha giocato la tecnologia, che ha favorito sia l'emergere di *echo chamber*, dove non c'è spazio per chi la pensa diversamente, sia la continua conferma delle proprie posizioni su svariati argomenti, per esempio grazie a programmi che hanno un ruolo essenziale nella selezione delle notizie e nell'acquisizione delle informazioni da parte dei singoli utenti; in altre parole, ciascuno di noi può crearsi una propria bolla informativa in cui vivere e in cui può giocare anche un ruolo attivo, trasmettendo a sua volta le informazioni che ritiene più utili. Un ruolo però lo ha giocato anche il nostro cervello, o meglio i meccanismi cognitivi con cui navighiamo nel mondo, che sia quello reale oppure una sua immagine virtuale, distorta a nostro piacimento. Anzi, oggi più che mai sarebbe necessario investigare più a fondo questi meccanismi, troppo facilmente liquidati con la razionalità assoluta dell'essere umano che, a conti fatti, si è dimostrata niente più che un mito.

Dunque, dopo essere passati dal sogno di un'intelligenza collettiva alla caotica realtà della Torre di Babele stiamo forse scivolando nell'incubo di un'Era della segregazione?

bigtunaonline/iStock

di Folco Claudi

Uno scudo per la Terra

Nicola Tomassetti ha ottenuto una scoperta importante sull'eliosfera, la regione dello spazio influenzata dall'azione del Sole, che agisce come scudo per la Terra

Da miliardi di anni il Sole fornisce il calore e l'energia necessari alla vita sulla Terra, e un riparo dall'incessante pioggia di raggi cosmici, costituiti da particelle cariche ad alta energia, che investono il sistema solare. Sui meccanismi fondamentali di questo scudo, la cosiddetta eliosfera, cioè la regione dello spazio influenzata dall'azione del Sole, sappiamo molto. Tuttavia, tante questioni sono ancora aperte.

Di recente, una pietra miliare negli studi sull'eliosfera è stata posta da un team italo-portoghese coordinato da Nicola Tomassetti dell'Università di Perugia e della sezione dell'Istituto nazionale di fisica nucleare (INFN) della stessa città. Come si legge su «Astrophysical Journal Letters», Tomassetti, insieme ai colleghi del progetto europeo MAtISSE, ha scoperto un ritardo temporale definito – circa otto mesi – con cui l'attività solare modula il flusso di raggi cosmici. È un risultato importante non solo per le conoscenze di base sui raggi cosmici, ma anche per la programmazione delle future missioni nello spazio.

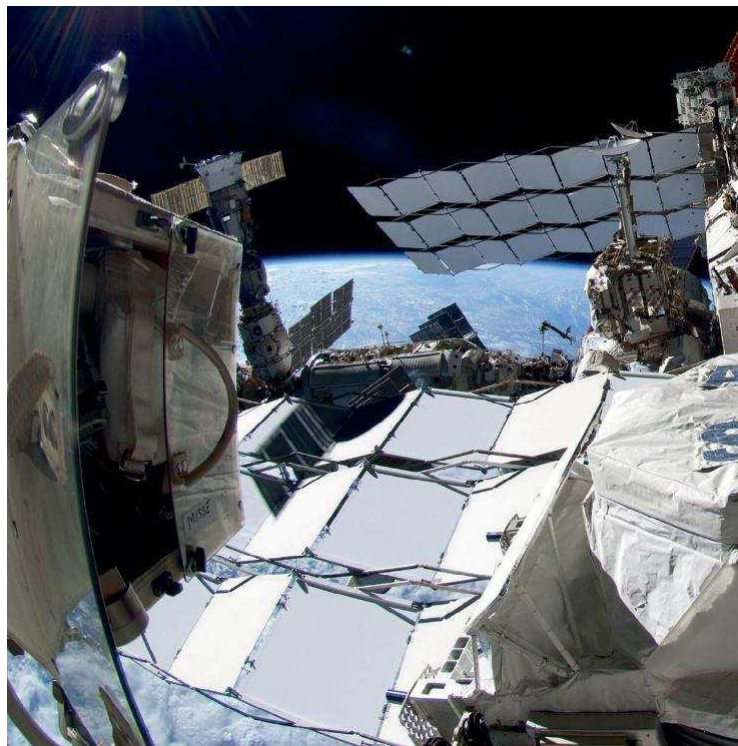
Com'è nato il progetto MAtISSE e qual era l'obiettivo scientifico?

L'idea era studiare in un contesto generale le problematiche astrofisiche legate ai raggi cosmici, cioè le particelle cariche ad alta energia che provengono da regioni remote della galassia e che hanno viaggiato nel cosmo per milioni di anni. Capire quali sono i meccanismi fisici che possono produrre i raggi cosmici e accelerarli a energie così elevate è una questione fondamentale per la ricerca astrofisica di oggi.

Per questo obiettivo è stato fondamentale il passaggio dai rivelatori a terra a quelli nello spazio, non è così?

Sì certo. Il problema è che l'atmosfera fa da schermo, alterando le caratteristiche dei raggi cosmici, e produce particelle secondarie: quindi è molto difficile risalire alle caratteristiche iniziali dei raggi. Molto diverso è il caso dei rivelatori nello spazio, grazie a cui è possibile determinare il tipo di particelle in arrivo, da quale direzione e il loro spettro di energia: un'analisi dettagliata ci racconta la loro storia. Attualmente partecipo all'esperimento Alpha Magnetic Spectrometer (AMS-02), montato sulla Stazione spaziale internazionale, attivo senza sosta dal 2011.

Nello spazio è un po' come avere un acceleratore di particelle naturale.

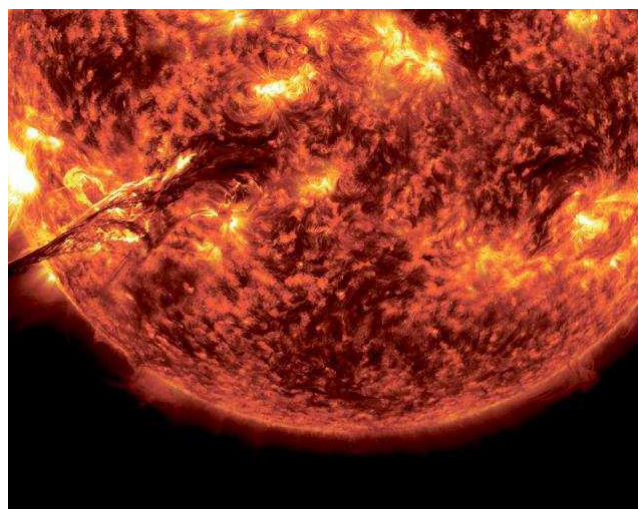
Per molti aspetti è così. AMS-02 è un esperimento di fisica delle particelle alle alte energie analogo ai rivelatori operativi al Large Hadron Collider del CERN di Ginevra sia per i dispositivi di rilevazione sia per la raccolta e l'analisi della grande quantità di dati prodotti. Poi, quando i dati devono essere interpretati, entra in gioco la nostra conoscenza dell'astrofisica e della cosmologia.

CHI È

Nicola Tomassetti è nato a Fano nel 1980. All'Università di Perugia ha conseguito la laurea magistrale in fisica nel 2006 e il PhD nel 2009.
Attualmente è Marie-Curie Fellow al Dipartimento di fisica e geologia dell'Università di Perugia. Collabora inoltre con l'Istituto nazionale di fisica nucleare (INFN) della stessa città, con il CERN di Ginevra e con il Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas di Lisbona.
La sua attività di ricerca teorica e sperimentale è dedicata alla fisica astroparticellare, in particolare alle questioni fondamentali che riguardano l'origine dei raggi cosmici e la natura della materia oscura cosmologica. Partecipa all'esperimento internazionale Alpha Magnetic Spectrometer (AMS) per la rivelazione di particelle cosmiche nello spazio, e al progetto europeo MAtISSE per lo studio degli effetti di modulazione solare dei raggi cosmici nell'eliosfera.

Cortesia Tomassetti (*Tomassetti*); cortesia NASA/AMS Collaboration (*esperimento AMS*)

Veniamo a tema del suo ultimo articolo: in che modo il Sole influisce sui raggi cosmici?

Nell'ultima parte del loro lungo viaggio, i raggi cosmici attraversano l'eliosfera, la regione dello spazio influenzata dal Sole che si estende per oltre 100 unità astronomiche (un'unità astronomica equivale alla distanza media tra Terra e Sole). L'eliosfera si può immaginare come una bolla di plasma, cioè un gas quasi del tutto ionizzato, perennemente alimentato dal vento solare, cioè dal flusso di particelle cariche emesso da Sole. Questo plasma è magnetizzato, e sappiamo che l'attività magnetica del Sole varia nel tempo seguendo un ciclo periodico di 11 anni. Di conseguenza anche le proprietà del plasma emesso nell'eliosfera mostrano un andamento variabile e periodico, ed è logico quindi aspettarsi che la modulazione solare sulla pioggia di raggi cosmici rifletta anch'essa lo stesso andamento, anche se finora è mancata una caratterizzazione precisa dei tempi con cui si verificava questo processo.

A caccia di particelle. Il rivelatore AMS-02 a bordo della Stazione spaziale internazionale in orbita attorno alla Terra. Sotto, il Sole in piena attività, con un brillamento – una violenta eruzione di materia – visibile a sinistra nella foto.

Cortesia NASA/SDO/AIA, NASA/STEREO, SOHO/ESA e NASA (*Sole*)

Una caratterizzazione che è arrivata con il vostro ultimo studio, è corretto?

Sì, dall'analisi di una gran varietà di dati registrati nello spazio, incrociata con le osservazioni dell'attività solare, abbiamo scoperto che gli effetti di modulazione dell'eliosfera si producono circa otto mesi dopo rispetto all'attività solare. L'esistenza di un ritardo non era così inaspettata, dato che il vento solare viaggia a circa 400 chilometri al secondo, quindi anche i suoi effetti nello spazio interplanetario circostante si propagano a velocità limitata, impiegando mesi per raggiungere i confini dell'eliosfera. Detto in termini semplici, quando l'attività del Sole è maggiore, aumenta l'effetto di modulazione e il flusso di raggi cosmici diminuisce, e viceversa. E, come detto, il flusso di raggi cosmici risponde con circa otto mesi di ritardo a queste variazioni.

Quale significato ha questo risultato in termini teorici e quali conseguenze può avere a fini pratici?

Il nostro scopo primario è capire come funzionano questi meccanismi in modo dettagliato, per avere conoscenze sempre più approfondite dei fenomeni astrofisici. È chiaro però che il risultato è di enorme importanza pratica, perché i raggi cosmici al di fuori dell'atmosfera terrestre sono pericolosi per gli astronauti e possono danneggiare anche le costose apparecchiature elettroniche montate su satelliti, sonde spaziali e quant'altro. L'attività solare è monitorata continuamente ed è quindi nota quasi in tempo reale: usare queste informazioni per prevedere i raggi cosmici può aiutarci a programmare le missioni spaziali, considerando anche i periodi di massimo o di minimo flusso di raggi cosmici, o anche tenendone conto per gestire lo svolgimento di missioni per destinazioni più lontane, che durerebbero anni, come per esempio nel caso di una missione su Marte. Chiaramente parlo in via ipotetica, le problematiche da considerare sono tante.

Il paragone è forse un po' azzardato, ma si può pensare che l'astrofisica dei raggi cosmici stia aprendo una nuova finestra sull'universo, come ha fatto di recente l'astronomia gravitazionale con la rilevazione delle onde gravitazionali?

Le onde gravitazionali sono state rilevate per la prima volta, e quindi hanno aperto un campo di ricerca inedito, basato su segnali provenienti dal cosmo mai osservati finora. I raggi cosmici li studiamo ormai da un secolo e quindi siamo in una situazione decisamente diversa.

Però è innegabile che negli ultimi anni l'astrofisica dei raggi cosmici abbia fatto tali e tanti progressi che si può parlare di un'età dell'oro per questo tipo di ricerche. Ancora oggi sono in corso numerosi esperimenti da terra e dallo spazio che sono in grado di rilevare le particelle di antimateria. Con sensibilità e intervalli di energia inesplorati si stanno raccogliendo dati molto dettagliati e interessanti, che potrebbero contribuire a una nuova comprensione dell'universo, risolvendo problemi fondamentali, come la misteriosa prevalenza della materia sull'antimateria, o aiutarci a capire la natura della materia oscura.

di Letizia Gabaglio

Un tessuto color vinaccia

Vegea ha sviluppato una tecnologia innovativa per produrre materiali amici dell'ambiente usando come materia prima i derivati della lavorazione vitivinicola

Moda e vino, due eccellenze italiane che, grazie al lavoro di due giovani imprenditori, si sono incontrate in maniera inaspettata. Vegea, questo il nome della loro azienda, produce tessuti a partire dalle vinacce, gli scarti della produzione vinicola. «Prima lavoravo come consulente ambientale per aziende che avevano il problema di valorizzare al meglio le biomasse prodotte», racconta Francesco Merlino, uno dei fondatori di Vegea. «Tutte le aziende stanno investendo in sostenibilità e la formazione di chimico industriale mi ha permesso di elaborare strategie per trasformare le biomasse in materiali a valore aggiunto». Dopo qualche anno, però, Merlino, classe 1989, decide che è tempo di costruire qualcosa di proprio; insieme a Gianpiero Tessitore, architetto d'interni, comincia ad analizzare gli scarti per capire quale sia il migliore per realizzare tessuti ecocompatibili. A partire dal 2014 i due giovani iniziano a collaborare con centri di ricerca specializzati nella sintesi di macromolecole; il loro obiettivo è studiare matrici vegetali dell'agroindustria e capire quale sia la migliore per creare materiali da fonti vegetali rinnovabili.

Questa collaborazione ha portato a identificare la vinaccia, uno dei derivati della lavorazione vitivinicola, come la materia prima ideale. La vinaccia – una materia del tutto naturale costituita da bucce, semi e raspi dell'uva – contiene composti polifunzionali che sono la base ottimale per la creazione di tessuti tecnici ecosostenibili. «La scelta è caduta sulla vinaccia per due motivi: è facilmente reperibile sul territorio e ha una trama particolarmente adatta alla lavorazione», spiega Merlino.

Alla fine della spremitura

Il processo produttivo inizia nelle aziende agricole che effettuano la spremitura dell'uva e la separazione delle vinacce; queste ultime sono poi essiccate per poterle conservare a lungo e usarle fino a tre anni dopo. La produzione del tessuto, quindi, non è vincolata ai tempi della vendemmia perché la materia prima necessaria è sempre disponibile. A questo punto le vinacce sono trattate secondo un processo brevettato da cui si ottiene una miscela che viene spalmata per realizzare veri e propri teli. Il processo produttivo termina con trattamenti di finitura specifici e diversificati in modo da conferire al tessuto Vegea gradazioni di peso, spessore, elasticità, goffratura (l'impronta permanente di un disegno a rilievo) e colore differenti in base alle applicazioni. Il tessuto ecologico ha proprietà meccaniche, sensoriali ed estetiche molto simili alla pelle ma è diverso. Per la sua realizzazione non sono usate sostanze chimiche inquinanti, proteggendo così l'ambiente ma anche la salute di chi lo deve lavorare. È un prodotto *eco-friendly* anche perché per la sua produzione è caratterizzata da un consumo minimo di acqua.

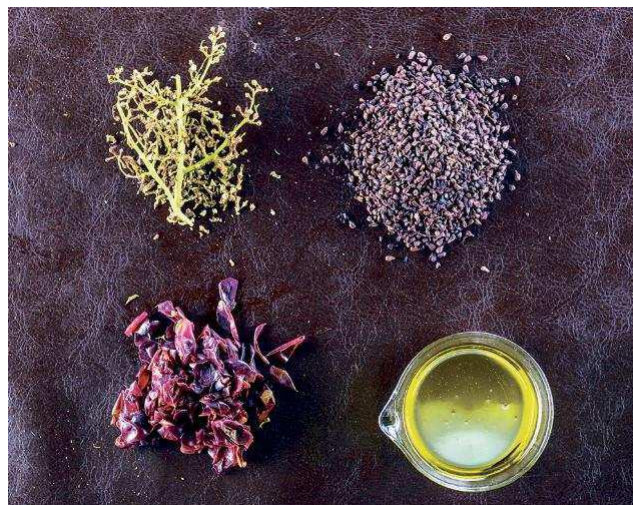
Ogni anno nel mondo sono prodotti 26 miliardi di litri di vino. Da questa produzione si possono ricavare quasi sette milioni di tonnellate di vinaccia da trasformare in una materia prima dal grande valore aggiunto. Calcoli alla mano si potrebbero produrre tre miliardi di metri quadrati di tessuto Vegea, una superficie equivalente a circa 400.000 campi da calcio. «L'Italia produce il 18 per cento del vino a livello mondiale, è il maggior produttore del globo. Non abbiamo paura di rimanere senza materia prima da cui partire», dice il chimico.

LA SCHEDA

Vegea

Fatturato n.d.	**Investimenti in ricerca** n.d.
Dipendenti/collaboratori 8 di cui 6 impiegati in R&S	**Brevetti rilasciati** 2

Cortesia Vegea (*tutte le foto in questa pagina e nella pagina a fronte*)

Ciclo produttivo. Sopra e accanto, due passaggi che precedono la lavorazione della vinaccia nel processo sviluppato da Vegea; sotto, il tessuto ottenuto alla fine della lavorazione.

Con i loro campioni di tessuto, i due giovani partecipano al Global Change Award indetto dalla Fondazione H&M, il concorso internazionale più importante nel campo dell'innovazione nel *fashion business*, arrivando niente meno che primi. «Il premio vinto a inizio 2017 ci ha proiettato anche a livello internazionale e ci ha permesso di stringere diversi accordi con aziende del mondo della moda interessate a produrre capi di abbigliamento con il nostro tessuto tecnico», sottolinea Merlino. «Siamo un'azienda che produce innovazione e non vogliamo diventare un marchio di moda. Puntiamo piuttosto a vendere i nostri tessuti ai grandi marchi».

Per farsi conoscere dalle grandi case di moda, tuttavia, a ottobre scorso i due ragazzi hanno voluto produrre una collezione prototipo: borse, scarpe, vestiti che sono stati esposti a Milano presso le Vigne di Leonardo, in un evento-presentazione aperto ai marchi più prestigiosi. I mesi successivi sono stati frenetici: molti i *brand* che hanno scommesso sul tessuto prodotto dalla vinaccia, al punto che è proprio grazie ai finanziamenti ottenuti da queste aziende che Vegea, insediata nell'incubatore di Progetto Manifattura, il polo italiano *clean tech* e dell'economia circolare di Trentino Sviluppo, sta passando alla fase di industrializzazione del suo tessuto.

Altri filati innovativi

La ricerca però non si è fermata e nei laboratori di Vegea sono stati sviluppati filati innovativi a partire da un altro scarto della viticoltura: i residui della potatura delle viti. Anche in questo caso non ci sono problemi di approvvigionamento: solo contando le cantine con cui Vegea ha preso accordi di collaborazione, ogni anno si ha una produzione di 1200 chilogrammi di residui di potatura per ettaro.

«Per rendersi conto della grande scalabilità del progetto basta pensare che solo in Italia ci sono circa 650.000 ettari di vigne, e nel mondo 7,5 milioni di ettari», afferma ancora Merlino. «Come già avvenuto per il processo del primo tessuto *biobased*, anche per questo che parte dai residui della potatura delle viti abbiamo depositato dei brevetti e continueremo a investire in ricerca e sviluppo per mettere a punto innovazioni eco-compatibili». In preparazione ci sono già diversi altri materiali, da usare non solo nel campo della moda, realizzati a partire da differenti scarti alimentari. Nella convinzione che per il futuro si debba adottare un modello di economia circolare dal momento che quello tradizionale, lineare, è sempre meno sostenibile perché legato allo sfruttamento di risorse non rinnovabili. Dall'esigenza di non sprecare nulla e dalle eccellenze italiane non possono che nascere prodotti di qualità, etica ed estetica.

di Elena Castellani
professore associato, Dipartimento di filosofia,
Università di Firenze

L'argomento della convergenza

Il ruolo di un criterio non empirico nella pratica e nella conferma scientifica

Una questione ultimamente molto discussa, soprattutto in relazione a teorie che si occupano di ambiti molto lontani dalle attuali possibilità di osservazione – vedi la teoria delle stringhe o i modelli cosmologici che prevedono una molteplicità di universi – è quella del valore da attribuire al ruolo dei cosiddetti criteri non empirici nel processo di elaborazione e conferma di un'ipotesi o di una teoria scientifica.

È chiaro che, nel caso in cui si discutano teorie o ipotesi che riguardano il mondo della natura, il controllo empirico resta un requisito imprescindibile per la conferma. Ma questo non vuol dire che non giochino un ruolo importante, anche se mai conclusivo, altri criteri che appunto non sono di natura empirica, cioè non sono fondati sulle osservazioni e gli esperimenti.

Quali sono dunque questi criteri non empirici? Se ne possono individuare due principali tipologie, a seconda che si tratti di criteri «esterni» alla teoria (tipicamente basati sul confronto con altre teorie), oppure criteri «interni», che si fondano su caratteristiche inerenti alla teoria.

Nel primo caso, un buon esempio è fornito dai tre «argomenti di conferma non empirica» individuati dal filosofo della scienza Richard Dawid nel suo libro *String Theory and the Scientific Method* (2013):

a) l'assenza di teorie alternative (*No Alternatives Argument*),
b) il fatto che altre teorie comparabili abbiano poi trovato conferma empirica (*Meta-inductive Argument*);
c) il fatto che la teoria fornisca una spiegazione per risultati che esulano dal suo originario ambito di applicazione (*Unexpected-Eplanation Argument*). Questi argomenti sono stati molto discussi nel convegno di Monaco del 2015 dedicato alla questione «Perché confidare in una teoria?» (*Why Trust a Theory?*), di cui Dawid è stato uno degli organizzatori.

Mentre i criteri esterni sono a posteriori, cioè si applicano alle teorie già costituite, i criteri di carattere interno sono influenti anche nel processo stesso d'elaborazione teorica, dove svolgono un importante ruolo euristico. Esempi tipici sono i criteri fondati sulle cosiddette «virtù teoriche» o, appunto, extra-empiriche: semplicità, coerenza, eleganza, fecondità, potere esplicativo e carattere unificante, per ricordare quelle più usate.

Meno studiato, ma non per questo meno rilevante nella pratica scientifica, è un altro tipo di criterio interno che si può chiamare «l'argomento della convergenza»: ovvero l'argomento secondo cui un importante supporto (non empirico) alla teoria è fornito dal fatto che alcuni risultati teorici, che hanno un ruolo cruciale nella costruzione della teoria, vengano ottenuti in modi alternativi e indipendenti e, a volte, anche da punti di partenza diversi. L'argomento ha tanta più forza quanto più sorprendenti o audaci sono questi risultati teorici.

Alla base della realtà. Illustrazione della teoria delle stringhe, per cui i blocchi fondamentali della natura sono come corde.

David Parker/Science Photo Library/AGF

Un caso esemplare è fornito proprio dalla teoria delle stringhe: agli inizi degli anni settanta, nella prima fase d'elaborazione della teoria, si arrivò a una congettura veramente audace – 22 dimensioni spaziali in più rispetto alle tre conosciute – seguendo percorsi indipendenti e a partire da problematiche del tutto diverse all'interno del quadro teorico che si andava costruendo. Era una congettura davvero difficile da accettare, ma il fatto che si fosse arrivati a un numero simile di dimensioni da punti di partenza diversi e seguendo strade indipendenti ebbe indubbiamente un ruolo determinante nel renderla più plausibile.

L'argomento della convergenza non è certo nuovo nella storia della scienza, e gode di un precedente illustre nel diciannovesimo secolo: si tratta del criterio che William Whewell, personaggio all'epoca molto influente nel mondo britannico, chiamò «consilienza delle induzioni». La consilienza di Whewell, posta come uno dei criteri principali per la conferma di una teoria nella sua monumentale *Filosofia delle scienze induttive, fondata sulla loro storia* (1840), riguarda, più propriamente, la convergenza di diverse «induzioni» in un'ipotesi unificante di carattere più generale. Per comprenderne il significato, è importante collocarla nel quadro del suo pensiero e nel contesto storico della sua opera. Con queste dovute cautele, comunque, c'è un'indubbia affinità con il criterio discusso sopra: la convergenza sorprendente di risultati teorici ottenuti per vie completamente diverse.

di Edoardo Boncinelli
Università Vita-Salute San Raffaele, Milano

Incentivi e condizionamenti

Uno studio sul comportamento cooperativo nei topi ha dato risultati sorprendenti

Noi esseri umani pensiamo che la cooperazione sia molto meglio della competizione; tutta la nostra civiltà è stata costruita su questa convinzione. Animali diversi da noi mostrano tanto inclinazioni cooperative quanto inclinazioni competitive mischiate e compresenti, con la prevalenza ora dell'uno atteggiamento ora dell'altro, secondo le specie, gli individui e le condizioni di contorno. Un atteggiamento cooperativo è quindi frutto di educazione e di persuasione. Molto di quello che abbiamo fatto collettivamente negli ultimi secoli e che fanno ogni giorno genitori ed educatori riguarda proprio la necessità e la convenienza di instaurare un modo di comportarci incline alla cooperazione piuttosto che alla competizione.

L'impresa non è sempre facile e il successo ottenuto varia da posto a posto, da epoca a epoca e anche da individuo a individuo. È legittimo quindi chiedersi da che cosa dipendano il successo o l'insuccesso dello sforzo educativo e, in particolare, se questo successo è più funzione dell'efficacia dell'educazione o dipende di più dall'indole dei singoli individui. Su un quesito come questo ci sono state infinite discussioni, e gli esiti sono stati i più vari, sia perché le condizioni sono sempre diverse sia perché le risultanze sono state lette e interpretate sotto angolazioni differenti e nella cornice di impostazioni teoriche diverse. Un approccio di tipo storico e morale non può fare molto di più, ma si può tentare anche una strategia sperimentale, usando animali di laboratorio, anche se è ben chiaro che un topo o un ratto non sono esseri umani.

Di recente un gruppo di ricercatori sudcoreani ha usato i topi come materiale di studio e ha raggiunto risultati che a me paiono molto interessanti e abbastanza inattesi (si veda Choe I.-H. e collaboratori, su «Nature Communication», Vol, 8, pp. 1176-1184).

Moltissimi animali di laboratorio, inclusi i topi impiegati nell'esperimento in questione, sono piuttosto refrattari a cooperare e passare così sopra alla prepotenza che un individuo dominante esercita sull'altro. Non è chiarissimo che cosa determini questo tipo di dominanza, anche se le dimensioni del corpo contano, ma è sempre comunque abbastanza evidente chi sia l'individuo dominante, anche se questo richiede occasionalmente una breve lotta. Sia che si tratti di gruppi di individui, sia che si tratti di solo due individui, come nel caso dell'esperimento in oggetto.

A noi è chiaro che questa impostazione finisce per danneggiare entrambi gli individui, nell'immediato e ancora più a lungo termine, ma a loro evidentemente no. Questa quindi è la situazione di partenza: il topo che si ritiene dominante cerca di imporsi all'altro, anche se a lungo andare la cosa non reca vantaggio a nessuno dei due. Si può ovviare a questo stato di cose? In altre parole, si possono «educare» i due topi a osservare un comportamento più paritario e «pacifico», che a lungo andare può diventare anche collaborativo? È ovvio che la risposta è sì, ma c'è una sorpresa.

L'educazione dei topi avviene attraverso un condizionamento, cioè viene dato un premio a chi si comporta come noi desideriamo, superando l'impulso verso un comportamento competitivo e di sopraffazione. Il premio può consistere in una razione di cibo o in una piccola stimolazione elettrica, somministrata senza fili, in una specifica regione del cervello, essenzialmente il talamo dorsomediale, nota per essere coinvolta nella scelta di strategie comportamentali implicanti cooperazione o competizione. Ebbene, la somministrazione di cibo, per quanto gradita, non riesce a insegnare ai topi a cambiare strategia, mentre la piccola stimolazione elettrica sì. L'esperimento è tutto qui.

Aiutami che ti aiuto. I topi sono refrattari alla cooperazione, che però può essere ottenuta con condizionamenti opportuni.

Mangiare quando si ha fame mette in moto certe aree del cervello e per così dire le acquieta, ma l'azione è mediata da molti fattori. Viceversa, si possono stimolare direttamente le stesse aree con un impulso elettrico. Poiché nelle condizioni dell'esperimento non è facile ottenere il risultato sperato, la stimolazione diretta delle aree cerebrali interessate ha più probabilità di successo. L'educazione, cioè l'elaborazione di un complesso ordinato di condizionamenti, talvolta può non funzionare a dovere o addirittura per niente. Intervenire direttamente sul cervello, per esempio con un farmaco, può avere un altro effetto, magari più tangibile. Occorre quindi sempre valutare con mente aperta l'efficacia del metodo di educazione ed eventualmente cambiarlo.

di Piergiorgio Odifreddi
professore ordinario di logica matematica all'Università di Torino
e visiting professor alla Cornell University di Ithaca (New York)

Una corsa contro il Sole

Come cambiano ore e giorni viaggiando attorno al globo verso est o verso ovest

Tre mesi dopo la pubblicazione del *Giro del mondo in 80 giorni* (1873), e sull'onda del suo immediato successo, Jules Verne fu invitato a tenere una conferenza su *I meridiani e il calendario*. Il collegamento tra i due argomenti stava nel famoso finale del romanzo, in cui il viaggiatore Phileas Fogg scopre che girando attorno al mondo verso est ha guadagnato un giorno. Il motivo è semplice: mentre Fogg compie rispetto alla Terra un giro reale verso est, il Sole compie rispetto a lui un giro apparente verso ovest, che si aggiunge a quelli che compie quotidianamente rispetto alla Terra nella stessa direzione.

Detto altrimenti, se giriamo attorno al mondo verso est, vediamo il Sole sorgere una volta di più di quante lo vedremmo se stessimo fermi in uno stesso posto, perché al numero di volte in cui esso passa davanti a noi andando in una direzione dobbiamo aggiungerne una in cui siamo noi a passare davanti a lui nell'altra direzione. Mentre i londinesi hanno visto 80 albe e tramonti, dunque, Phileas Fogg ne ha visti 81, anche se è trascorso per tutti lo stesso tempo.

Oggi i viaggi aerei ci hanno abituati a essere anche più precisi: ogni volta che passiamo da un fuso orario al successivo, dobbiamo aggiungere un'ora al nostro orologio se stiamo andando verso est, e toglierla se stiamo andando verso ovest. Ma nella sua conferenza Verne riporta un problema sollevato a tal proposito dal matematico Joseph Bertrand, suo consigliere scientifico: che cosa succede se procediamo lungo l'equatore verso ovest, e facciamo un intero giro del globo in 24 ore esatte? Poiché la nostra velocità è di un fuso all'ora, quando passiamo da un fuso all'altro dobbiamo togliere un'ora all'ora che è passata: dunque, l'orologio rimane sempre fermo sulla stessa ora, mentre i minuti scorrono.

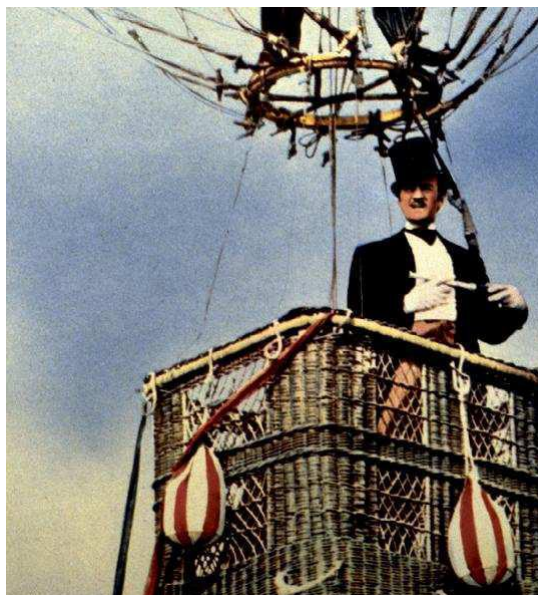
Non c'è niente di paradossale, perché andare verso ovest attorno all'equatore in 24 ore significa semplicemente muoversi in direzione contraria a quella della Terra, alla sua stessa velocità: dunque, la posizione del Sole e la rispettiva ora solare rimangono invariate durante tutto il viaggio. Ma ovviamente il tempo non si è fermato, perché quando torniamo al punto di partenza abbiamo perso un giorno: cioè, arriviamo il giorno successivo. Il problema posto da Bertrand è: quando scatta il nuovo giorno, visto che l'ora rimane sempre la stessa durante tutto il viaggio, su tutti i fusi?

Al cinema. Una scena del film *Il giro del mondo in 80 giorni* (1956), tratto dall'omonimo romanzo di Verne.

La risposta è ovviamente convenzionale: dipende da qual è il meridiano di riferimento per il mezzogiorno, che oggi è quello di Greenwich per tutto il mondo. Ma all'epoca di Verne lo era solo per l'Inghilterra, mentre era quello di Parigi per la Francia, quello di Washington per gli Stati Uniti e così via. Addirittura, l'Alaska mantenne l'ora russa fino a che non fu venduta agli Stati Uniti, mentre i territori confinanti usavano l'ora americana.

Uno dei vantaggi del meridiano di Greenwich è che il suo opposto a 180 gradi, che costituisce la cosiddetta «linea internazionale del cambio di data» istituita nel 1884, attraversa l'Oceano Pacifico: si getta così letteralmente a mare l'apparente paradosso di fusi geograficamente adiacenti, ma temporalmente sfasati di un giorno, sfruttato da Umberto Eco fin dal titolo del suo romanzo *L'isola del giorno prima* (1994).

Verne nota che il guadagno di un'ora al fuso equivale a quattro minuti per grado, perché ciascuno dei 24 fusi corrisponde a 15 gradi, per un totale di 360. Ora, quattro minuti sono esattamente il tempo che la Terra impiega a ruotare su se stessa di un grado, visto che compie un giro completo in 24 ore, ruotando di 15 gradi all'ora. Inoltre la Terra impiega un anno, cioè circa 360 giorni, a ruotare attorno al Sole: dunque, circa un grado al giorno. Questo significa che per riallinearsi al Sole la Terra impiega ogni giorno circa quattro minuti in più di quanto impieghi a riallinearsi alle stelle fisse: detto altrimenti, il giorno solare è di circa quattro minuti più lungo rispetto al giorno sidereo.

Il risultato è che in un anno il Sole sorge e tramonta in cielo una volta in meno delle stelle fisse: rispettivamente, 365 volte contro 366. Poiché però l'anno non è pari a 365 giorni esatti, ma dura sei ore in più, ogni quattro anni si accumula un giorno, che infatti si aggiunge negli anni bisestili. Il che significa che in quattro anni il Sole e le stelle fisse non sorgono e tramontano 1460 e 1464 volte, ma 1461 e 1465. Queste cose le sapevano già gli antichi, che non si sarebbero dunque sorpresi del guadagno di un giorno da parte di Phileas Fogg, a differenza degli ignari lettori di Verne.

Photomovie

di Amedeo Balbi
Professore associato di astronomia e astrofisica presso il Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma «Tor Vergata». Il suo ultimo libro è *Dove sono tutti quanti?* (Rizzoli, 2016)

La relatività vince ancora

La nascente astronomia multimessaggero conferma le previsioni di Albert Einstein

Come era facile prevedere, negli ultimi mesi sono stati pubblicati parecchi studi che sfruttano le nuove possibilità offerte dalla cosiddetta «astronomia multimessaggero», come è chiamata l'osservazione simultanea di segnali gravitazionali e luminosi emessi dalla stessa sorgente.

L'evento sotto esame, per il momento, è solo uno, la collisione tra due stelle di neutroni osservata ad agosto scorso come onda gravitazionale dalle collaborazioni LIGO-Virgo e, simultaneamente, da una serie di osservatori nelle diverse bande dello spettro elettromagnetico. Nella rubrica dello scorso dicembre ho raccontato come da questa prima osservazione si sia potuta ottenere una misurazione indipendente della costante di Hubble (cioè della velocità di espansione dell'universo), sfruttando l'evento come «sirena gravitazionale». Ma ci sono molte altre applicazioni interessanti.

Una è investigare eventuali differenze tra la velocità di propagazione delle onde elettromagnetiche e di quelle gravitazionali: un test concettualmente semplice ma che ha pesanti conseguenze per la comprensione delle leggi fondamentali della fisica. Partiamo dal fatto sperimentale: le onde gravitazionali prodotte nella collisione tra le due stelle di neutroni sono arrivate sulla Terra con un anticipo di 1,7 secondi rispetto ai raggi gamma sprigionati nella stessa collisione: un intervallo di tempo molto piccolo, se si considera che la sorgente è a circa 130 milioni di anni luce di distanza.

Questo implica che le onde gravitazionali si propagano nel vuoto con una velocità che è uguale a quella della luce, con un possibile scarto di appena una parte su 10^{15}. Il che è in perfetto accordo con la formulazione «standard» dell'elettromagnetismo e della gravità, e permette quindi già di escludere diverse formulazioni teoriche alternative. Alcune di esse avevano come motivazione anche quella di fare a meno della materia oscura e dell'energia oscura previste dagli scenari cosmologici attuali. Sembra sempre meno probabile, dunque, che una soluzione al mistero di queste componenti nascoste possa arrivare da una modifica radicale della gravità einsteiniana.

Un'altra applicazione dello stesso evento è stata presentata di recente in uno studio di Kris Pardo, della Princeton University, e collaboratori pubblicato su arXiv il 24 gennaio 2018. In questo caso, l'osservazione simultanea del segnale gravitazionale e di quello elettromagnetico è stata usata per mettere limiti all'esistenza di dimensioni spazio-temporali ulteriori rispetto alle quattro conosciute. Negli scenari teorici di questo tipo, la gravità fa sentire il proprio effetto anche nelle dimensioni aggiuntive, oltre che in quelle conosciute (le altre interazioni, invece, restano confinate allo spazio-tempo ordinario). Se esistono dimensioni extra, quindi, il segnale gravitazionale dovrebbe subire una «perdita» (*leakage*, in inglese) lungo il percorso, vale a dire un'attenuazione più grande rispetto a quella prevista nel caso delle quattro dimensioni standard. Poiché la distanza della sorgente può essere determinata indipendentemente attraverso il suo segnale elettromagnetico (che non è alterato dall'eventuale presenza di altre dimensioni), è possibile verificare con precisione come stanno le cose. Il risultato (rassicurante o deludente, a seconda dei punti di vista) è che non sembra esserci nessuna evidenza dell'esistenza di dimensioni extra.

In definitiva, quindi, c'è sempre meno spazio per discostarsi dalla teoria della gravità di Einstein. Ma allo stesso tempo è aumentata la nostra capacità di andare a cercare piccole deviazioni, e possibili sorprese, dove un tempo non avremmo avuto modo di cercarle.

Scontro stellare. Illustrazione della collisione di due stelle di neutroni osservata ad agosto 2017 come onda gravitazionale e simultaneamente in diverse bande dello spettro elettromagnetico.

Cortesia Dana Berry, SkyWorks Digital, Inc./Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics

di Giorgio Manzi
Insegna paleoantropologia presso il Dipartimento di biologia ambientale dell'Università «La Sapienza» di Roma, dove dirige il Museo di antropologia «Giuseppe Sergi»

Un'origine complicata

Nuove prove portano a ripensare il modo in cui è comparsa la nostra specie

Un mascellare con quasi tutti i denti dell'arcata superiore di sinistra è stato trovato nella Misliya Cave, una grotta del Monte Carmelo, il promontorio dalle parti di Haifa, in Israele. Il reperto fossile è stato accuratamente descritto in un articolo pubblicato di recente su «Science». Gli autori mostrano che non si tratta né di un Neanderthal né di un'altra forma umana arcaica, ma di un rappresentante della nostra specie, datato con tre differenti metodi quantitativi tra 177.000 e 194.000 anni fa.

La morfologia combinata con la datazione indicano quindi che saremmo in presenza del più antico rappresentante di una delle prime popolazioni della nostra specie che iniziavano a diffondersi fuori dall'Africa. E la notizia è di notevole interesse perché intercetta il problema, al momento assai dibattuto, delle origini dell'umanità moderna, cioè del «quando» e del «come» ci siamo evoluti come *Homo sapiens*.

Le ricerche degli ultimi decenni, almeno a partire dal 1987 (anno di articoli che sono di importanza cruciale per questo tema), avevano fissato a circa 200.000 anni fa la comparsa della specie, probabilmente in Africa orientale. Inoltre, in accordo con una visione che potremmo definire gouldiana del fenomeno di speciazione (facendo riferimento alla teoria degli «equilibri punteggiati» di Stephen J. Gould e Niles Eldredge), l'evoluzione di *H. sapiens* è vista da molti di noi come un fenomeno molto ben localizzato nel tempo e nelle spazio, avvenuto a carico di una piccola popolazione del Corno d'Africa di circa 200.000 anni fa, seguito dalla nostra diffusione geografica planetaria: prima in Africa e poi, a partire da circa 100.000 anni fa, anche fuori da quel continente.

A questo scenario avevano contribuito sia prove fossili, con i reperti di Herto (160.000 anni fa) e Omo-Kibish 1 (195.000), entrambi in Etiopia, sia i dati a carattere paleogenetico, con stime sulla coalescenza preistorica dell'attuale variabilità di *H. sapiens* (in base al criterio del cosiddetto «orologio molecolare»). Coerenti erano anche le date dei più antichi scheletri anatomicamente moderni scoperti fuori dal continente africano, come quelli di Es Skhul (100.000 anni fa) e Qafzeh (90.000), entrambi nell'attuale territorio di Israele.

Può stupire allora che proprio lì, nella Misliya Cave, si sia ora trovato un resto fossile così prossimo all'epoca presunta della comparsa di *H. sapiens* e parecchio più antico degli altri fossili umani moderni israeliani. Può bastare concludere che una prima uscita dall'Africa avvenne molto presto?

No, non basta. Il nuovo dato si armonizza con due notizie comparse rispettivamente sulle pagine di «Nature» e «Science» l'anno scorso e, come al solito, rimbalzate su tutti i mezzi di comunicazione. Nella prima notizia, i fossili scoperti nel sito di Jebel Irhoud in Marocco e considerati dei «quasi *sapiens*», erano stati datati a circa 300.000 anni fa e usati per suggerire un'origine più antica e pan-africana della nostra specie. Alla stessa data (o meglio all'intervallo compreso tra 260.000 e 350.000 anni fa), come stima delle origini della specie, sono arrivate le analisi di ricercatori che hanno studiato il DNA estratto da resti scheletrici di varia antichità scoperti nel KwaZulu-Natal, in Sudafrica. Parte di questi resti hanno fornito il genoma di popolazioni affini agli attuali Khoe-San, privo però delle introgressioni genetiche dovute al contatto con altre popolazioni negli ultimi millenni. Poi, a guardare bene, si scopre che in un recente passato altri autori avevano già ipotizzato, sempre su basi genetiche, che le origini della nostra specie potrebbero essere più antiche di quanto si pensi.

Le nuove tessere del puzzle sembrano convergere su 300.000 anni fa piuttosto che su 200.000 e su un'origine tutt'altro che gouldiana di *H. sapiens*. La faccenda si complica.

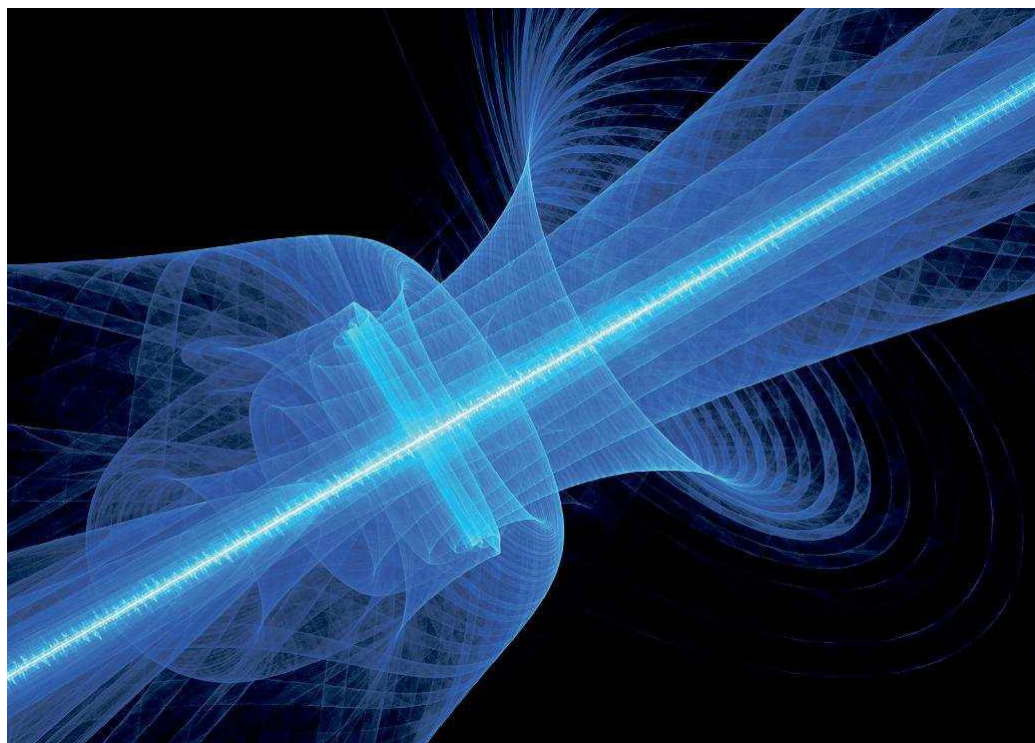
Tassello del puzzle. Il reperto fossile scoperto in una grotta del Monte Carmelo, vicino ad Haifa, in Israele, attribuito a *Homo sapiens* e datato tra 177.000 e 194.000 anni fa.

Cortesia Gerhard Weber, Università di Vienna

Ricerca, tecnologia e medicina dai laboratori di tutto il mondo

FISICA

Trasmissioni quantistiche via spazio

Scambiati segnali crittografati tra l'Austria e la Cina con un ponte satellitare

Particelle entangled. Le comunicazioni crittografate sono avvenute sfruttando una particolare proprietà della meccanica quantistica, l'*entanglement*, in base a cui due particelle correlate si comportano come un sistema unico anche se sono separate da grandi distanze.

Sakkmesterkee/iStock

La trasmissione sicura di segnali crittografati con tecniche quantistiche a distanze intercontinentali è una realtà. A dimostrarlo, grazie a un esperimento combinato fra laboratori a terra e un satellite in orbita descritto su «Physical Review Letters», sono stati il gruppo guidato da Jian-Wei Pan, dell'Accademia delle scienze cinese, e il gruppo guidato da Anton Zeilinger, dell'Accademia delle scienze austriaca. In particolare, i laboratori, separati da una distanza di 7600 chilometri, si trovano a Graz, in Austria, e a Xinglong, non lontano da Pechino. In orbita, a 500 chilometri di quota, a svolgere la funzione di «stazione di collegamento» fra le basi a terra, si trova invece il satellite cinese Micius, lanciato il 17 agosto 2016 proprio allo scopo di svolgere esperimenti di ottica quantistica su lunga distanza.

Per raggiungere questo risultato – che apre importanti prospettive nell'ambito delle comunicazioni digitali sicure – i ricercatori si sono avvalsi di un particolare sistema crittografico, denominato distribuzione a chiave quantistica (QKD, da *quantum key distribution*), molto diverso dai sistemi di crittografia classici. Nel sistema QKD, infatti, lo scambio della chiave fra mittente e destinatario delle comunicazioni avviene in modo che la chiave non può essere intercettata, e questo grazie alla particolare proprietà della meccanica quantistica nota come *entanglement*.

Quando due o più particelle (per esempio fotoni o elettroni) sono opportunamente preparate in modo che i loro stati non possono più essere descritti singolarmente, si dicono *entangled*, o in correlazione quantistica. Due particelle correlate si comportano come un sistema unico, anche quando si trovano a grandi distanze l'una dall'altra. Così, una misurazione effettuata su una delle due influenza istantaneamente l'altra, ovunque si trovi.

Su questa proprietà si basa anche il «teletrasporto quantistico». Nella distribuzione a chiave quantistica, lo scambio della chiave di crittografia avviene proprio effettuando misurazioni su particelle correlate, note solo ai due interlocutori. Grazie a questa tecnica le comunicazioni sono intrinsecamente sicure e pertanto inviolabili.

Nel contesto di questi esperimenti, pensati per dimostrare la fattibilità di comunicazioni quantistiche satellitari, si inserisce anche l'attività dell'Agenzia spaziale italiana, in collaborazione con l'Università di Padova, con l'impiego del Matera Laser Ranging Observatory (MLRO) per le comunicazioni Terra-spazio. Proprio il telescopio MLRO sarà presto oggetto di un aggiornamento per poter colloquiare con il satellite Micius. E partecipare così allo sviluppo della futura «Internet quantistica».

Emiliano Ricci

FISICA

Quattro dimensioni al prezzo di due

Dimostrato sperimentalmente un modello teorico che prevede quattro dimensioni spaziali

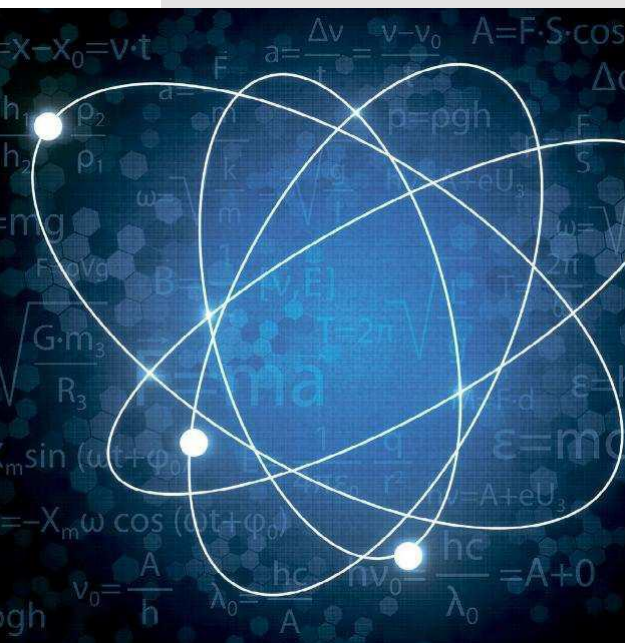
La possibile esistenza di dimensioni spaziali «nascoste» ha da sempre affascinato sia il mondo della letteratura – basti pensare al capolavoro di Edwin Abbott *Flatlandia* (1884) – sia gli scienziati, che negli anni hanno prodotto numerose teorie che ammettono quattro o più dimensioni dello spazio. Ora, due gruppi internazionali di fisici hanno dimostrato per la prima volta che è possibile «testare» con esperimenti reali - cioè realizzati nel nostro mondo tridimensionale - un modello teorico che richiede l'esistenza di quattro dimensioni spaziali. Entrambi i gruppi di ricerca, guidati rispettivamente da Immanuel Bloch del Max-Planck-Institut für Quantenoptik di Garching e da Mikael Rechtsman dell'Università della Pennsylvania, hanno pubblicato i loro risultati su «Nature».

Il modello testato dai ricercatori descrive la versione 4D dell'effetto Hall quantistico, un fenomeno che si osserva in sistemi elettrici virtualmente bidimensionali (ovvero in cui una delle tre dimensioni spaziali è assai più piccola rispetto alle altre due) sottoposti a forti campi magnetici: se raffreddati a temperature prossime allo zero assoluto, la capacità di questi materiali di condurre elettricità (detta conduttanza) diventa «quantizzata», cioè può assumere solo valori multipli interi di una costante fondamentale. L'effetto è proibito in sistemi tridimensionali, tuttavia nel 2000 è stato dimostrato teoricamente che può essere osservato in un ipotetico mondo a quattro dimensioni spaziali.

I due gruppi di ricerca sono riusciti a simulare l'effetto usando due tecniche diverse, applicate a sistemi a due dimensioni: il gruppo di Bloch ha usato atomi di gas ultrafreddi intrappolati in un super reticolo, mentre quello guidato da Rechtsman ha usato un flusso di fotoni in moto lungo una matrice di guide d'onda.

In entrambi i casi, la complessa struttura geometrica attraverso cui sono stati costretti a muoversi atomi e fotoni ha simulato efficacemente la presenza di due dimensioni supplementari, come se il sistema avesse un totale di quattro dimensioni. Le misurazioni dei ricercatori sono risultate in perfetto accordo con le previsioni della teoria.

Matteo Serra

I rapporti causa-effetto nel mondo quantistico

Dimostrare relazioni di causa-effetto è una delle sfide più difficili in molte branche della scienza. Nell'ambito della fisica classica, i cosiddetti «test strumentali» permettono di stimare relazioni causali in modo molto accurato, attraverso precise relazioni matematiche: grazie a questi strumenti statistici, è possibile per esempio affermare che la guarigione di un paziente (effetto) è una conseguenza della somministrazione di un certo farmaco (causa). Ma la musica è diversa quando dal mondo classico si passa a quello quantistico: lo dimostra uno studio pubblicato su «Nature Physics» da un gruppo di ricercatori guidato da Fabio Sciarrino della «Sapienza» Università di Roma. La ricerca evidenzia per la prima volta, da un punto di vista sia teorico sia sperimentale, che le relazioni che caratterizzano i test strumentali possono essere violate in presenza di fenomeni quantistici come l'*entanglement*. Per dimostrarlo sperimentalmente i ricercatori hanno realizzato misurazioni su due fotoni entangled, seguendo l'approccio classico dei processi strumentali: in particolare, il tipo di misura su un fotone dipendeva dall'esito della misura sull'altro.

Il risultato sottolinea una volta di più la profonda differenza tra fisica classica e meccanica quantistica, che nell'ambito dei rapporti causa-effetto è già messa in evidenza dal teorema di Bell, secondo cui la meccanica quantistica è incompatibile con il concetto classico di causalità «Questo esperimento rappresenta la struttura causale più semplice in cui è possibile "vedere" la differenza tra il mondo classico e quello quantistico – sottolinea Sciarrino – e conferma quanto sia importante fare attenzione, in presenza di meccanismi quantistici, a usare strumenti tipici dell'inferenza classica». La scoperta apre inoltre la strada a possibili applicazioni tecnologiche, in particolare nel settore della crittografia e della generazione di numeri casuali.

Matteo Serra

iStock (2)

ASTROFISICA

Alle origini dei lampi radio veloci

Una nuova ipotesi attribuisce queste rapidissime emissioni all'azione di una magnetar

Cortesia NASA

I lampi radio veloci (o FRB, da *fast radio burst*) sono intense e rapidissime emissioni di energia elettromagnetica nella banda radio, la cui origine è ancora oggetto di indagine. Dal momento della scoperta, avvenuta nel 2007, ne sono stati osservati molti, tutti di origine extragalattica, tuttavia per ora solo uno ha mostrato la peculiarità di ripetersi, seppure non in maniera periodica: il lampo radio indicato come FRB 121102. Ed è proprio studiando questo particolare FRB che un gruppo di ricercatori guidato dall'italiano Daniele Michilli, dell'istituto di radioastronomia olandese ASTRON, ha individuato le possibili sorgenti di questi lampi.

Nello studio, pubblicato su «Nature», Michilli e collaboratori, che hanno osservato 16 ripetizioni di FRB 121102 con i radiotelescopi di Arecibo, in Portorico, e di Green Bank, in West Virginia, hanno ipotizzato che a generare questi lampi sia una magnetar, ovvero una stella di neutroni avvolta da un campo magnetico molto intenso. La brevità dei FRB osservati – il più breve dei quali è durato qualche decina di microsecondi – si spiega infatti invocando una sorgente compatta, di una decina di chilometri di diametro circa, come è appunto una stella di neutroni. Però la magnetar da sola non basta. Ecco perché, per spiegare le proprietà osservate, come la grande quantità di energia rilasciata nel brevissimo intervallo di durata del lampo, gli astrofisici ipotizzano due soluzioni, entrambe collegate all'ambiente che dovrebbe circondare la magnetar.

La prima ipotesi vedrebbe una stella compatta giovane ancora avvolta nel resto di supernova, dalla cui esplosione avrebbe avuto origine la magnetar: sarebbe l'interazione fra la stella, l'intenso campo magnetico in rapida rotazione e il gas circostante a produrre il lampo. Ma Michilli e colleghi propongono un nuovo scenario: una magnetar in orbita attorno a un buco nero massiccio circondato da un disco di accrescimento. Le prossime osservazioni diranno quale delle due soluzioni è più attendibile e se FRB 121102 è un lampo tipico o solo un caso particolare.

Emiliano Ricci

La massa limite delle stelle di neutroni

Delle circa 2000 stelle di neutroni note, la maggior parte ha una massa inferiore a una volta e mezzo quella solare. Solo poche hanno masse vicine alle due masse solari e, almeno finora, la stella di neutroni più massiccia osservata, la pulsar PSR J0348 + 0432, è di 2,01 masse solari. Ma gli astrofisici si domandano da tempo se la massa delle stelle di neutroni abbia un limite invalicabile, oltre cui la stella si trasforma necessariamente in buco nero. Come descritto su «The Astrophysical Journal Letters», il gruppo guidato da Luciano Rezzolla, direttore dell'Istituto per la fisica teorica di Francoforte, è ora riuscito a stimare questo limite, pari a 2,16 masse solari. Il risultato è stato ottenuto confrontando i dati registrati dall'osservazione della fusione delle due stelle di neutroni che ha dato origine all'onda gravitazionale GW170817 rilevata ad agosto scorso, con un insieme di proprietà generali delle stelle di neutroni, note come «relazioni universali», formulate da Rezzolla e da Cosima Breu, dello stesso istituto, nel 2016. Secondo una di queste relazioni universali, una stella di neutroni in rotazione alla massima velocità possibile può aumentare la propria massa del 20 per cento, non oltre. Da questo dato hanno poi dedotto la massa limite di una stella non in rotazione.

Emiliano Ricci

CLIMA

Non solo anidride carbonica

Altri gas serra, come il protossido di azoto, contribuiscono al riscaldamento globale

Le cause dei cambiamenti climatici

Il metodo è nuovo, il risultato no. Uno studio italiano che non usa i consueti modelli climatici conferma che il recente aumento delle temperature globali è ascrivibile alle attività umane e in particolare alle emissioni di gas serra e alla deforestazione. Lo firma su «Scientific Reports» Antonello Pasini, climatologo all'Istituto sull'inquinamento atmosferico del CNR a Roma e collaboratore di «Le Scienze», con colleghi dell'Università di Torino e dell'Università di Roma Tre.

«I tanti modelli climatici che sono giunti a questa conclusione, nonostante le loro differenze, hanno un approccio e un'origine comuni. Una conferma indipendente quindi rafforza molto la solidità dei risultati», spiega Pasini. Per ricavarla, il gruppo ha creato un modello di intelligenza artificiale basato su reti neurali, in grado di analizzare grandi moli di dati sul clima e sugli elementi che possono averlo influenzato negli ultimi 160 anni, e individuare le relazioni senza ipotesi a priori basate sulle conoscenze dei sistemi climatici.

È giunta così la conferma del ruolo umano nel riscaldamento degli ultimi 50 anni. Ma in realtà sono giunte anche novità: per esempio che le variazioni dell'irradiazione solare, ininfluenti negli ultimi decenni, hanno invece contribuito al riscaldamento registrato dal 1910 al 1945.

Giovanni Sabato

In un momento in cui l'accordo di Parigi del 2015 richiede una diminuzione drastica delle emissioni di gas serra se si vogliono evitare i danni peggiori del cambiamento climatico, molta dell'attenzione internazionale è sulle riduzioni della CO_2. Ma altri gas contribuiscono al riscaldamento globale. Tra questi, il protossido di azoto (N_2O) rappresenta il sei per cento del contributo dei gas serra al riscaldamento. Infatti, di N_2O in atmosfera ce ne è assai meno rispetto alla CO_2, ma il suo «potere riscaldante» è circa 300 volte più grande di quest'ultima.

Ma come è possibile abbattere le emissioni di protossido di azoto in modo da contribuire sostanzialmente alla mitigazione della temperatura globale? Ci sono tecniche attuabili? Ebbene, di recente Wilfried Winiwarter, dell'International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg di Laxenburg in Austria, e collaboratori hanno cercato di rispondere, pubblicando uno studio su «Environmental Research Letters».

I ricercatori hanno considerato un numero notevole di tecniche di abbattimento delle emissioni di N_2O, specialmente nel campo agricolo, dove, tra l'altro, è previsto un loro aumento nel prossimo futuro per il maggior uso di fertilizzanti azotati. I risultati principali della ricerca hanno identificato una serie di misure a bassissimo costo che possono produrre una riduzione di emissioni al 2030 del sei per cento circa. Spingendosi a costi un po' più elevati si potrebbero ridurre le emissioni del 18 per cento circa. Se non si fa riferimento ai costi, sembra che la riduzione massima possibile con le tecniche attuali sia del 29 per cento.

La conclusione dei ricercatori è che con queste misure sarebbe possibile al più stabilizzare le emissioni al livello dei primi anni di questo secolo. Per far meglio, ed è sicuramente necessario, bisogna agire con operazioni non semplicemente tecniche, per esempio con azioni sulla dieta, che dovrebbe fare minore uso di proteine animali: si ricordi che per alimentare gli animali da allevamento si usano quantità enormi di campi coltivati, che devono fornire mangimi.

Antonello Pasini

leolintang/iStock

GENETICA

Un riciclo virale

Nel topo e nel moscerino della frutta i neuroni hanno riutilizzato sequenze di virus

L'evoluzione è un campione di riciclaggio e due studi su «Cell» ne mostrano un nuovo esempio. Sia nel topo sia nella drosofila (il moscerino della frutta), in modo indipendente, i neuroni hanno riusato sequenze di virus, integratesi anticamente nel loro genoma, per realizzare vescicole extracellulari che veicolano informazioni ad altre cellule. Lo studio sui topi è di Jason Shepherd dell'Università dello Utah a Salt Lake City, quello sulla drosofila è opera di Vivian Budnik della Università del Massachusetts a Worcester.

Le vescicole extracellulari si staccano dalla membrana cellulare e circolano nell'organismo, con funzioni non ancora ben note. I due studi hanno scoperto che molte vescicole prodotte dai neuroni contengono la proteina e l'RNA messaggero di un gene (*Arc*) che contribuiscono alla creazione e alla plasticità delle sinapsi, e interviene in varie malattie neurologiche umane. Hanno visto inoltre che *Arc* è molto simile a un gene virale (*gag*), la cui proteina forma l'involucro esterno del virus, il capside, che trasporta il materiale genetico virale e lo introduce nella cellula che infetta. La proteina Arc, infatti, forma anch'essa capsidi, che contengono l'mRNA del gene *Arc* stesso e che escono dai neuroni avvolti nelle vescicole extracellulari. Nei moscerini queste vescicole raggiungono i muscoli e liberano l'mRNA nelle cellule muscolari, non si sa con quali funzioni; se il gene manca, però, si formano meno collegamenti fra cellule nervose e muscoli. Nel topo i neuroni si scambiano queste vescicole fra loro, e i neuroni riceventi usano l'mRNA per produrre la proteina Arc.

Sembra quindi che i neuroni abbiano reclutato un gene virale per fabbricare capsidi che veicolano RNA messaggero fra le cellule. Secondo i due autori, questo meccanismo, mai osservato prima, potrebbe contribuire alla plasticità del sistema nervoso, partecipando alla riorganizzazione delle connessioni via via che il cervello si modifica. E potrebbe essere solo l'inizio: nel genoma umano ci sono un centinaio di sequenze simili a *gag*, e alcune potrebbero avere ruoli analoghi.

Giovanni Sabato

L'azione genica dei batteri intestinali

I batteri intestinali possono controllare l'espressione genica delle cellule, ma in che modo? Uno dei possibili meccanismi è stato scoperto da un gruppo di ricerca coordinato da Patrick Varga-Weisz del Babraham Institute, in Regno Unito, con uno studio pubblicato su «Nature Communications». Nella digestione di frutta e verdura i batteri producono acidi grassi a catena corta che penetrano nelle cellule epiteliali intestinali. Qui, oltre a fornire energia, inibiscono la sintesi di HDAC2, una proteina che rimuove dal DNA un marcatore epigenetico (cioè una molecola che si lega alla doppia elica alterando l'espressione genica) chiamato crotonile. Indirettamente, quindi, i batteri influenzano la trascrizione dei geni e sembra lo facciano in modo da scongiurare l'insorgenza dei tumori dell'apparato digerente: nelle cellule del colon cancerose, infatti, si osservano livelli elevati di HDAC2, segno che ci sono pochi acidi grassi (perché non ci sono sufficienti batteri o perché la dieta non è equilibrata).
Il meccanismo di azione dei batteri è stato studiato in cellule intestinali murine, e sempre dai topi è arrivata la conferma del modello cellulare. In animali trattati con antibiotici per eliminare il microbioma intestinale, le cellule mostravano livelli di HDAC2 più alti del normale.

Martina Saporiti

CHIARI_VFX/iStock; *a fronte:* iStock (*cervello*); ANDRZEJ WOJCICKI/Getty Images (*testa*)

PALEOANTROPOLOGIA

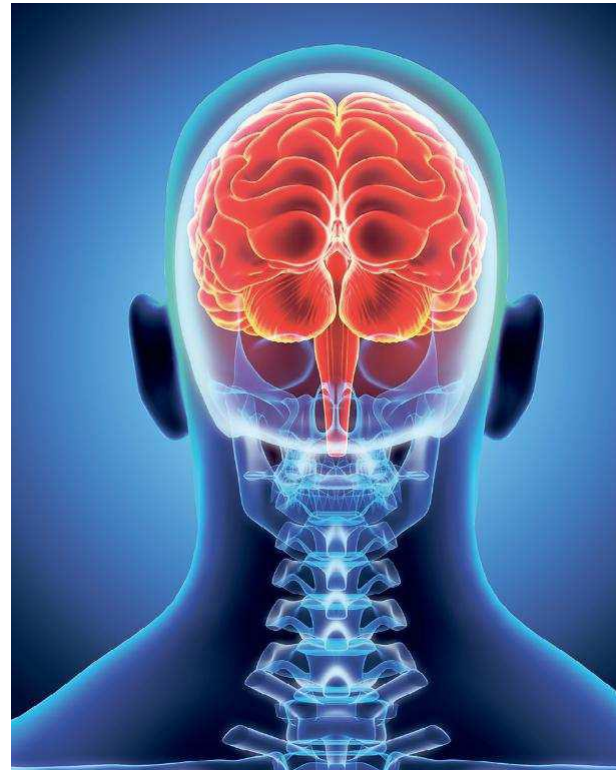
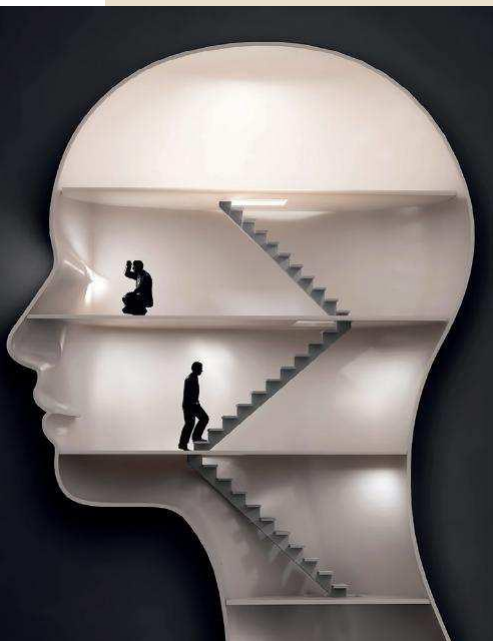
L'organizzazione moderna del cervello

La forma globulare dell'encefalo è un'acquisizione molto recente della nostra specie

Il cervello è l'organo che più caratterizza la nostra specie, capace di esprimere capacità cognitive uniche. Ma la sua moderna forma globulare è un'acquisizione molto recente, rispetto ad altre caratteristiche della morfologia cefalica. Lo rivela uno studio pubblicato su «Science Advances» da Simon Neubauer e colleghi del Max-Planck-Institut für evolutionäre Anthropologie di Lipsia.

Lo scorso anno, il gruppo ha analizzato i fossili di Jebel Irhoud, in Marocco, che risalgono a circa 300.000 anni fa e sono quindi tra i resti più antichi di *Homo sapiens* scoperti finora. Questi fossili testimoniano le prime fasi della nostra evoluzione africana e mostrano un mosaico di caratteri. Alcuni più moderni, come la faccia e i denti, altri decisamente arcaici, come una scatola cranica allungata, tipica dei Neanderthal e di specie umane più antiche. Nel nuovo studio, i ricercatori hanno usato scansioni di tomografia computerizzata di questi e altri fossili, oltre che di esseri umani moderni, per creare impronte virtuali della scatola cranica interna, che approssimano dimensioni e forma del cervello.

Le analisi hanno mostrato un cambiamento graduale da una forma endocranica allungata a una più globosa, in cui spiccano due rigonfiamenti a livello parietale e cerebellare. Queste aree presiedono a funzioni fondamentali, come percezione degli stimoli, consapevolezza di sé, uso di strumenti e cognizione sociale. Solo nei fossili più giovani di 35.000 anni i cervelli avevano la stessa forma globulare degli esseri umani attuali. Neubauer e colleghi hanno sottolineato che forma e dimensioni del cervello si sono evolute in modo indipendente. I fossili di Jebel Irhoud, per esempio, hanno già volumi endocranici di circa 1400 millilitri (1,4 litri) e rientrano nell'intervallo di variabilità dei cervelli attuali. L'evoluzione della forma endocranica suggerisce paralleli cambiamenti nello sviluppo precoce del cervello, fondamentali per l'evoluzione della cognizione umana.

Eugenio Melotti

Dall'ispirazione all'azione: il percorso di un pensiero

Il percorso di un pensiero, dall'origine fino al gesto o alla parola che genera. I ricercatori dell'Università della California a Berkeley lo hanno seguito nella testa di 16 pazienti affetti da epilessia mentre erano sottoposti a un intervento chirurgico al cervello. L'elettrocorticografia, la tecnica di visualizzazione cerebrale usata nello studio – pubblicato su «Nature Human Behaviour» – non può infatti essere usata su pazienti sani, poiché invasiva, ma le persone epilettiche trattate con una terapia chirurgica sono sottoposte a questo tipo di monitoraggio (elettrodi applicati direttamente sulla corteccia) per la loro stessa sicurezza. In questo modo infatti si controlla con precisione dove si trovano le aree cognitive più importanti (come quelle del linguaggio) per evitare che vengano danneggiate. I ricercatori hanno scelto questa metodologia perché ha una risoluzione temporale e spaziale molto più elevata delle tecniche tradizionali, come l'elettroencefalogramma o la risonanza magnetica funzionale. Negli esperimenti i soggetti hanno partecipato a prove più o meno complesse che richiedevano una risposta, mentre era registrata l'attività corticale.

I risultati hanno confermato il ruolo della corteccia prefrontale come «mediatore» o, come dicono gli autori in un comunicato stampa, di «colla della cognizione». Quest'area, spiegano gli scienziati, mette insieme le diverse aree del cervello e agisce come una sorta di vigile che indirizza lo stimolo percettivo in ingresso verso i circuiti responsabili del segnale motorio. Sono state effettuate anche osservazioni nuove. I tracciati infatti hanno mostrato che alcune aree di risposta (quindi teoricamente nella fase tardiva del percorso del pensiero) si accendono molto precocemente, già durante lo stimolo, suggerendo che anche prima di avere elaborato l'output motorio il cervello allerta le aree in uscita in modo che siano pronte per l'azione. Questo, concludono i ricercatori, spiega perché alcune persone dicono qualcosa ancora prima che sia finita una domanda.

Federica Sgorbissa

Noi, come droga per le zanzare

Il detto popolare ha ragione: chi ha il «sangue dolce» (o meglio, il giusto odore) attrae le zanzare. Lo ha dimostrato su «Current Biology» la biochimica Chloé Lahondère, insieme a colleghi del Virginia Tech, valutando le preferenze di femmine di *Aedes aegypti* che potevano scegliere fra la pelle di due persone percorrendo tubi a Y. È così risultato che certe persone sono più attraenti per le zanzare, tanto che alla sola percezione del loro odore il bulbo olfattivo dell'insetto rilascia dopamina, il neurotrasmettitore che nel nostro cervello è associato a esperienze piacevoli, come sesso, cibo o droga.
Ma «disintossicarle» si può. I ricercatori hanno prima esposto una zanzara al suo odore umano preferito, poi a uno shock elettrico. Mettendo la zanzara il giorno dopo nel tubo a Y, gli scienziati hanno osservato che evitava l'odore preferito, avendolo associato alla sensazione spiacevole dello shock elettrico. «Ancora non sappiamo perché un essere umano attrae le zanzare più di un altro, poiché il nostro odore è un mix di 400 componenti chimiche diverse», dice Lahondère «Ma abbiamo dimostrato che scacciarle con le mani può dissuaderle dal pungerci, grazie all'associazione fra il nostro odore e il pericolo sperimentato.» (AlSa)

Lo sviluppo simile delle civiltà complesse

Dagli antichi Romani all'impero Inca alle comunità delle coste del Ghana, le società più diverse hanno seguito un percorso di sviluppo simile. Pur con le peculiarità di ciascuna, e con periodi di regressione, tendenzialmente sono tutte cresciute di complessità in modo armonico, con uno sviluppo parallelo di territorio e popolazione, dell'articolazione amministrativa, militare e religiosa, delle specializzazioni professionali, dell'economia, dei sistemi informativi quali la scrittura, e di espressioni culturali come letterature e arti. La crescita, inoltre, in genere ha alternato fasi di lento progresso a rapidi balzi.

Lo ha mostrato sui «Proceedings of the National Academy of Sciences» un gruppo di antropologi, biologi, archeologi e storici, guidato da Charles Spencer dell'American Museum of Natural History di New York. Il gruppo ha raccolto e analizzato con varie tecniche statistiche un'immensa mole di dati storici e archeologici su 400 civiltà degli ultimi 10.000 anni. «Possiamo misurare un indice di complessità che cattura tutti gli aspetti di una civiltà», spiegano. «La complessità tende ad aumentare, suggerendo che una forza ne alimenti la crescita. Grazie a questo lavoro potremo verificare quantitativamente le ipotesi su quali siano queste forze, e su altri aspetti dello sviluppo delle civiltà». (GiSa)

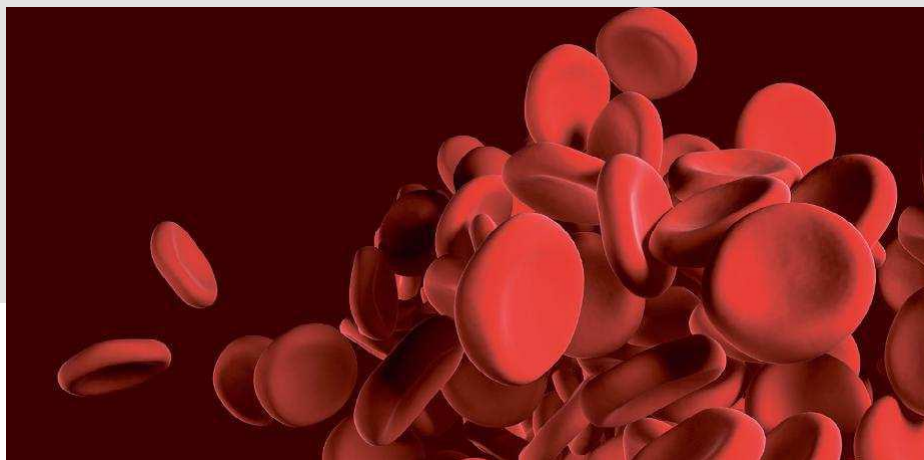
Quanto è antica Venezia?

Due noccioli di pesca trovati quattro metri sotto il pavimento della Basilica di San Marco, a Venezia, offrono indizi preziosi sull'origine della città. Secondo quello che scrive su «Antiquity» l'archeologo statunitense Albert Ammerman della Colgate University, Venezia sarebbe stata edificata quasi 200 anni prima di quanto si legge nei libri di testo.

Analizzando la concentrazione di carbonio-14 (un isotopo del carbonio usato per la datazione dei reperti organici) nei noccioli, il gruppo di Ammerman ha scoperto che risalgono a un'età compresa tra il 650 e il 770 d.C., circa 180 anni prima della deposizione della prima pietra della Basilica, un evento che molti storici considerano l'«anno zero» della città lagunare. I noccioli erano sepolti in uno strato di sedimento in cui sono stati trovati anche pezzi di vetro, legno, ossa e altri detriti che erano gettati nei canali per riempirli e creare le fondamenta di una città, la Venezia che oggi conosciamo. (MaSa)

Il potassio dà il tempo ai globuli rossi

Come ogni cellula del corpo, anche i globuli rossi seguono un ritmo circadiano che ne regola attività e proprietà. Ma i globuli rossi non hanno DNA (e quindi i geni per generare questo ritmo) e non era chiaro come «tenessero traccia» dello scorrere del tempo. A spiegarlo è uno studio pubblicato su «Nature Communications» da Fatima Labeed dell'Università del Surrey, in Regno Unito, e colleghi. È una questione di chimica: i ritmi circadiani dei globuli rossi dipendono dai loro livelli di potassio (indicati con K^+), più elevati durante il giorno e più bassi di notte. Consideriamo due parametri come conduttanza (la permeabilità della membrana cellulare) e concentrazione degli ioni nel citoplasma, la parte della cellula compresa tra la membrana cellulare e quella del nucleo. Misurandoli ogni tre ore per due giorni nei globuli rossi prelevati da quattro volontari, i ricercatori hanno osservato che i loro valori oscillano con un ritmo giornaliero. Manipolando la concentrazione di potassio nelle cellule, però, le oscillazioni vengono «scombinate»: quando diminuisce, il ritmo è sfalsato di sei ore; quando aumenta, non si osserva più un andamento ciclico. Svelato il ruolo del potassio nel controllare i ritmi circadiani dei globuli rossi, bisogna capire che cosa regoli l'ingresso degli ioni K^+ in quelle cellule, anch'esso scandito da un ritmo giornaliero. (MaSa)

iStock (*Venezia*); RolfAasa/iStock (*zanzara*); Viroswi/iStock (*globuli rossi*)

Le rotte delle balene

Le megattere (*Megaptera novaeangliae*) migrano da milioni di anni seguendo le stesse rotte: lo prova uno studio di Larry Taylor dell'Università della California a Berkeley presentato alla riunione della Society for Integrative & Comparative Biology. Le antiche rotte migratorie sono infatti «scritte» nel mantello dei cirripedi (*Coronula diadema*) che colonizzano la testa dei cetacei.

Questi crostacei catturano ossigeno dall'acqua ma gli atomi di ossigeno non sono tutti uguali: quelli delle acque più calde, per esempio, sono più pesanti (hanno un maggior numero di neutroni). Analizzando qualità e quantità degli isotopi dell'ossigeno presenti nel mantello dei cirripedi, quindi, è possibile ricostruire i loro viaggi negli oceani (e quelli dei cetacei che li trasportano). Taylor lo ha fatto in esemplari fossili trovati sulle coste americane deducendo che le migrazioni delle megattere del Pleistocene erano simili a quelle odierne: verso nord in estate per cercare cibo e a sud in inverno per riprodursi. **(MaSa)**

Un minirobot velocissimo

I robot delta, i cui tre bracci disegnano una forma simile a quella dell'omonima lettera dell'alfabeto greco, sono tra i più usati nelle industrie per il *pick & place*, cioè per afferrare oggetti e collocarli altrove con estrema precisione, per esempio in una scatola. Ragionando sulla loro struttura, scienziati della John A. Paulson School of Engineering and Applied Sciences e del Wyss Institute for Biologically Inspired Engineering, entrambi della Harvard University, hanno realizzato un minirobot delta, di appena 15 x 15 x 20 millimetri. È nato così il progetto MilliDelta che il responsabile, lo scienziato Robert Wood, ha spiegato così: «Miniaturizzare significa aumentare velocità e accelerazione. Abbiamo quindi sviluppato una struttura in un laminato composito, motorizzata con attuatori piezoelettrici, e abbiamo ottenuto un robot delta capace di produrre movimenti a una frequenza da 15 a 20 volte maggiore rispetto a uno normale».

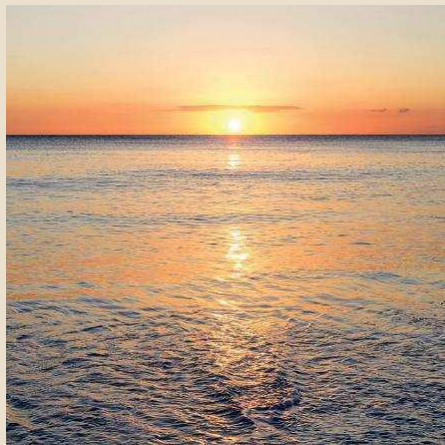
Si tratta di una velocità incredibile che è stata testata in vari impieghi, come applicazioni pick & place di oggetti piccolissimi, ma anche test di microchirurgia della retina, in cui il robot si è dimostrato efficace nel correggere il tremore della mano del chirurgo. Un altro possibile impiego, secondo i ricercatori, è la manipolazione di cellule in laboratori di ricerca e clinici. **(RiOl)**

L'inattesa reazione cellulare al suono

Le cellule reagiscono a una discreta varietà di stimoli: oltre ai segnali chimici, alcune riconoscono stimoli fisici come pressione, gravità, temperatura o luce. A queste ora va aggiunto il suono: in un articolo pubblicato su «PLoS ONE», biologi dell'Università di Kyoto hanno dimostrato che l'espressione di alcuni geni è parzialmente soppressa in presenza di determinati suoni udibili dall'essere umano. Nell'esperimento, differenti tipologie di cellule sono state poste in un incubatore dotato di un altoparlante.

I ricercatori si sono concentrati su geni di cui era nota la reattività ad altri stimoli fisici, osservando che, dopo un paio di ore di esposizione, la loro espressione era soppressa fino al 40 per cento. «Uno di questi geni è coinvolto nella formazione delle ossa – spiega Masahiro Kumeta, primo autore dello studio – mentre gli altri sono associati alla guarigione delle ferite e alla matrice extracellulare». Analisi successive hanno dimostrato che gli effetti si protraevano per almeno quattro ore ed erano vari, a seconda di tipologia cellulare, forma dell'onda sonora e decibel. Secondo gli autori, i risultati suggeriscono il coinvolgimento di almeno due meccanismi: il controllo trascrizionale e la degradazione dell'RNA. **(DaMi)**

Scoperto nell'oceano un nuovo tipo di virus

Abbondano negli oceani di tutto il mondo ma finora sono sfuggiti all'occhio degli scienziati. Si tratta di virus batteriofagi, cioè parassiti di specifici batteri, così peculiari da impedire ai comuni test di rilevarne la presenza. Ora però ricercatori del Massachusetts Institute of Technology e dell'Albert Einstein College of Medicine sono riusciti a isolarli.

Nella loro descrizione, pubblicata su «Nature», si legge che non hanno la «coda» tipica della maggior parte dei virus batteriofagi catalogati e sequenziati, e che hanno molte altre proprietà insolite. Per esempio, possono infettare dozzine di tipi diversi di batteri, anziché solo uno o due, quindi hanno un ruolo ecologico importante. Inoltre, il sequenziamento del DNA ha rivelato che hanno un genoma più piccolo di 4-5 volte rispetto a quello dei virus con coda. Le loro sequenze sono state trovate in varie banche dati, in cui però sono sottorappresentati a causa delle tecniche di campionamento inadeguate.

Ora, grazie al nuovo protocollo per isolarli, questi virus potranno essere cercati meglio negli oceani e altrove, anche nel bioma umano. A sottolineare la loro elusività e unicità, i ricercatori hanno battezzato il nuovo gruppo *Autolykiviridae*, in omaggio a Autolykos, un personaggio della mitologia greca noto per la sua abilità nello sfuggire alla cattura. **(EuMe)**

Baptiste Le Bouil/iStock (*megattera*); JGI/Tom Grill/AGF (*oceano*); John Lund/AGF (*suono*)

EPIDEMIOLOGIA

Prevedere pandemia

Simulazioni al computer permettono di anticipare e seguire la trasmissione di malattie nel mondo, suggerendo le mosse per affrontare patogeni in grado di scatenare crisi sanitarie globali

di Alessandro Vespignani

Durante l'estate 2014, i dati che arrivavano giorno dopo giorno sull'epidemia di Ebola in Africa occidentale offrivano il quadro sempre più evidente di una crisi internazionale di proporzioni disastrose. La situazione sembrava fuori controllo, con un numero di casi e di decessi in crescita esponenziale. A peggiorare il clima internazionale era la minaccia di una globalizzazione dell'epidemia, evidenziata dai primi casi negli Stati Uniti e in altri paesi sia europei sia africani.

Per il mio gruppo di ricerca, che fa parte del centro d'eccellenza dei National Institutes of Health degli Stati Uniti per l'inferenza e la dinamica delle malattie infettive, era quindi naturale unire le forze con una squadra di ricercatori provenienti da tre università statunitensi – Fred Hutchinson di Seattle, Università della Florida, Northeastern University di Boston – e da due centri di ricerca italiani – Fondazione Bruno Kessler di Trento, Fondazione Istituto interscambio scientifico di Torino – e tentare di portare il nostro contributo all'attività internazionale che cercava di contenere l'epidemia. Ma invece di fare le valigie e partire per le zone afflitte dall'epidemia ci siamo allacciati a dei supercomputer e siamo rimasti per mesi, come si dice in gergo, «a macinare numeri».

Facciamo un passo indietro. Il nostro lavoro di ricerca si svolge nell'ambito della cosiddetta epidemiologia computazionale. In altre parole, ricreiamo al computer una rappresentazione algoritmica della popolazione mondiale il più fedele possibile alla realtà. In questo mondo sintetico inseriamo la descrizione più accurata possibile dei meccanismi di trasmissione di una malattia e cerchiamo di prevedere la traiettoria futura dell'epidemia, nel tempo e nello spazio, tramite simulazioni dettagliate.

Questo lavoro ovviamente non si sostituisce al personale medico, agli operatori sanitari e ai tanti volontari che sono i veri eroi di ogni epidemia. Sono loro che, spesso a rischio della propria vita, combattono in prima linea negli ospedali a contatto con i malati. L'epidemiologia computazionale è però un'arma aggiuntiva, la cosiddetta *intelligence* che può aiutare chi è sul campo ad an-

Cortesia N. Samay, Northeastern University

la prossima

Mappa digitale.
Abbondanza della zanzara *Aedes Aegypti*, vettore del virus Zika, in America Latina (*in viola valori bassi, in giallo valori elevati*). Le infezioni dovute a questo virus sono state collegate con casi di microcefalia in neonati umani.

ticipare le mosse del nemico indicando le migliori strategie per combatterlo. Nel caso di Ebola abbiamo tracciato scenari per valutare l'efficacia di interventi come la costruzione delle unità di isolamento per i malati, la costituzione di squadre per la sepoltura in sicurezza dei deceduti e, non ultimo, l'impiego del vaccino che è stato poi sperimentato con successo durante le fasi finali dell'epidemia.

Dati, dati e ancora dati

Come i modelli atmosferici cercano di prevedere ogni anno la traiettoria dei cicloni tropicali, così i modelli di trasmissione delle malattie infettive cercano di prevedere la traiettoria dell'epidemia e la sua diffusione geografica. In questo contesto sembra ragionevole pensare che l'uso dei modelli numerici per la previsione delle epidemie si sia evoluto di pari passo con quello relativo alle previsioni metereologiche. Ma non è così.

La prima previsione metereologica eseguita da un computer digitale risale al 1950. Il gruppo di meteorologi del New Jersey's Institute for Advanced Study la produssero usando ENIAC, uno dei primi computer elettronici, contenente oltre 20.000 valvole e 70.000 resistenze. Dopo solo cinque anni, un progetto sia civile sia militare definiva il primo servizio operativo per le previsioni metereologiche numeriche negli Stati Uniti. Oggi, nel 2018, le previsioni metereologiche numeriche sono alla portata di miliardi di persone tramite servizi governativi o commerciali, accessibili da qualsiasi piattaforma mobile o su Internet. Le previsioni meteo fanno parte della nostra vita quotidiana, e hanno di fatto reso comuni importanti concetti scientifici come i sistemi caotici e «l'effetto farfalla».

L'epidemiologia matematica risale addirittura alla metà del XVIII secolo, con la pionieristica attività del matematico svizzero Daniel Bernoulli, e vede la sua formalizzazione teorica agli inizi del XX secolo negli Stati Uniti e in Inghilterra con i lavori di William Kermack, Anderson McKendrick, Lowell Reed e Wade Hampton Frost. Nonostante questa lunga tradizione teorica, la definizione dei modelli epidemici previsionali ha sofferto per lungo tempo dalla mancanza di dati di alta qualità necessari alla previsione in tempo reale delle emergenze epidemiche. Basti pensare che un pionieristico lavoro scientifico del 1985 che definiva le basi per la descrizione della circolazione delle epidemie influenzali attraverso il trasporto aereo ha dovuto attendere quasi un lustro prima di vedere la sua completa realizzazione. Allo stesso modo, il primo confronto incrociato tra diversi modelli e agenti che esaminano le conseguenze delle strategie di intervento contro una pandemia influenzale negli Stati Uniti ha visto la luce solamente nel 2008.

È solo negli ultimi 15 anni che il campo ha sperimentato una notevole accelerazione, grazie alla disponibilità di dati in settori che vanno dalle sequenze genetiche degli agenti patogeni alla mobilità umana, passando per l'enorme numero di informazioni provenienti dai *social network* e dai dispositivi mobili. La rivoluzione dei *big data* è generalmente associata ad approcci «induttivi» (per esempio la modellizzazione statistica) o a metodologie basate sull'apprendimento automatico (*machine learning*) e sull'intelligenza artificiale.

Un esempio clamoroso di questi approcci è rappresentato da Google Flu Trends, che usando il volume delle domande al motore di ricerca associate a parole chiave come «febbre» e «tosse» ha definito un sistema automatico per la previsione della stagione influenzale negli Stati Uniti. Nonostante le limitazioni che ne hanno poi portato alla chiusura (molte dovute all'assenza di una reale comprensione della dinamica epidemica), Google Flu Trends ha di fatto aperto la strada a quella che oggi è definita epidemiologia digitale. Nel mondo epidemiologico questi nuovi dati sono però una rivoluzione, anche perché permettono la comprensione teorica e la formalizzazione matematica dei meccanismi di propagazione epidemica a livello di singolo individuo e, di conseguenza, lo sviluppo di modelli che simulano in maniera esplicita la dinamica dell'epidemia sia nel tempo sia nello spazio.

Dai dati alle previsioni

Alla base dei modelli epidemici c'è la descrizione spaziale della popolazione umana. Progetti come LandScan, sponsorizzato dalla NASA, stimano con grande precisione la popolazione mondiale fino a una risoluzione di un chilometro quadrato. Su questa griglia che descrive la posizione geografica degli individui si possono poi aggiungere dati di origine sociodemografica, identificando così il numero di individui per età e sesso.

Popolazioni sintetiche più dettagliate sono invece quelle in cui si riesce a costruire l'associazione degli individui ai nuclei familiari, ai posti di lavoro e alle scuole, ricreando così nel computer una popolazione che dal punto di vista statistico è equivalente a quella reale. Si possono poi aggiungere ulteriori elementi importanti per la descrizione epidemica, come le infrastrutture ospedaliere e il personale sanitario a disposizione della popolazione locale. Infine, la popolazione sintetica prende vita grazie all'introduzione dei dati sulla mobilità e sul trasporto che determinano i movimenti dei singoli individui. Questo passaggio è ottenuto integrando dati che vanno dalla mobilità aerea nazionale e internazionale fino alle dinamiche di pendolarismo su scala locale. In altre parole, viene de-

Alessandro Vespignani è professore alla Northeastern University di Boston, dove dirige il Network Science Institute e il Laboratory for the Modeling of Biological and Socio-Technical Systems. Vespignani è membro eletto dell'Accademia d'Europa e *fellow* dell'American Physical Society. Di recente la sua attività di ricerca si è concentrata su modellizzazione computazionale della diffusione delle malattie infettive e studio delle reti tecnologiche e sociali.

IN BREVE

L'epidemiologia computazionale permette di prevedere l'andamento nel tempo e nello spazio della trasmissione di una malattia grazie a simulazioni dettagliate al computer.

Di recente questo settore ha subito un'accelerazione notevole grazie ai progressi della genomica, delle tecnologie di tracciamento della mobilità umana e di quelle per analizzare la grande mole di dati (big data) necessaria alle simulazioni.

Questi modelli non si sostituiscono al personale medico e sanitario, ma aiutano ad anticipare le mosse del nemico e a sviluppare le strategie per combatterlo. Sono strumenti utili in un mondo in cui un'epidemia in un'area remota potrebbe diventare un pericolo globale.

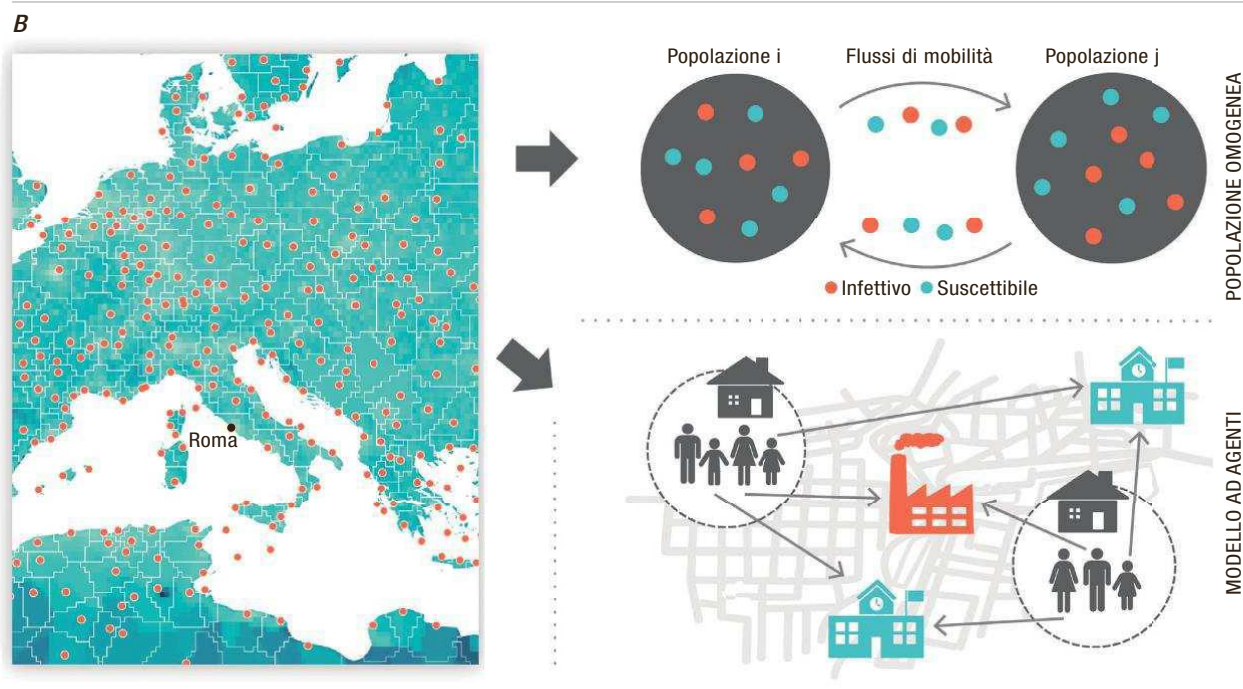
Modelli per epidemie

La mappa (*A*) illustra la ricchezza dei dati di mobilità generalmente inclusi nei modelli epidemiologici computazionali. Nel modellizzare la mobilità degli individui di una grande città come Roma sono considerati sia i flussi di traffico internazionali sia le dinamiche di mobilità locali visibili nell'ingrandimento a sinistra, in colore rosso.

L'illustrazione (*B*) mostra un tipico schema di modellizzazione della diffusione epidemica. Prima sono definite le popolazioni di interesse tramite una suddivisione di aree geografiche che campiona la superficie terrestre intorno ai principali aggregati urbani (*punti in rosso sulla mappa*). Poi il computer simula in modo esplicito la mobilità delle persone attraverso le varie popolazioni tracciando gli individui infetti (*in rosso*) e gli individui ancora suscettibili alla malattia (*in blu*) con diverse strategie che possono rappresentare i singoli in modo omogeneo, senza particolari distinzioni, oppure usando modelli ad agenti che associano a ciascun individuo il nucleo familiare e altre attività quotidiane. Nei modelli più dettagliati il computer risolve milioni di equazioni che descrivono la dinamica dell'epidemia a livello di singolo individuo. Un piattaforma computazionale aperta al pubblico per la simulazione epidemica è disponibile sul sito web: www.gleamviz.org.

A

B

Cortesia Alessandro Vespignani

Nella realtà. Volontari della Croce Rossa a Kailahun, centro abitato nella regione orientale della Sierra Leone, durante le operazioni per la gestione dell'epidemia di Ebola nell'agosto 2014.

ZUMAPRESS.com/AGF

finito un mondo sintetico che simula nel computer, su scala giornaliera, la vita di milioni o miliardi di individui, i loro movimenti e le loro interazioni (*si veda il box a p. 31*).

Tuttavia, per simulare la diffusione di un'epidemia in questo mondo sintetico non c'è un modello unico che possa descrivere ogni singolo patogeno. Al contrario, per ogni agente patogeno (virus, batterio e altro ancora) è adottata una descrizione specifica delle fasi attraversate dagli individui durante la malattia e dei meccanismi che caratterizzano la trasmissione dell'infezione da un individuo all'altro. Per esempio: un individuo può essere infetto ma attraversare un periodo di incubazione che in media dura uno o due giorni per i virus influenzali, mentre può arrivare fino a tre settimane di incubazione per un virus come Ebola. I parametri che caratterizzano il patogeno sono spesso inglobati in grandezze come il tasso di riproduzione o l'intervallo seriale, che specificano il numero di casi secondari generati da ogni individuo infetto, e il tempo che in media trascorre tra l'osservazione del caso primario e il caso secondario. Questi parametri caratterizzano trasmissibilità e velocità di diffusione dell'infezione e, insieme ad altri parametri epidemiologici, definiscono equazioni e algoritmi che descrivono la dinamica dell'epidemia attraverso la popolazione. Il livello di dettaglio degli approcci può variare di molto: si va da equazioni che descrivono gli individui come semplici particelle sottoposte a una forza di infezione omogenea fino a modelli che simulano ogni singolo processo microscopico di infezione considerando i diversi tipi di interazioni tra gli individui (per esempio a scuola, al lavoro o nel nucleo familiare).

Una volta inizializzati con le condizioni di partenza appropriate dell'epidemia (numero di casi e la loro collocazione iniziale), questi modelli epidemiologici sono dati in pasto al computer, che ne calcola l'evoluzione spaziale e temporale. Le previsioni includono normalmente il quando, il dove e il quanto dell'epidemia, ovvero curve epidemiche che esprimono, in funzione del luogo e del momento, il numero di nuove infezioni, nuove ospedalizzazioni e altre quantità che descrivono il corso dell'epidemia.

Modelli così dettagliati permettono anche di avere informazioni difficili da ottenere con i dati reali, per esempio le reti di invasione dell'epidemia che mostrano, per ciascuna città, da quale altra città sia più probabile che venga importata l'infezione (*si veda il box nella pagina a fronte*). Queste reti permettono di prevedere le mosse dell'epidemia, e dunque di definire politiche di intervento. Per esempio, poter prevedere la sequenza delle grandi città che sono colpite da un'epidemia permette di coordinare gli sforzi internazionali, ottimizzare l'uso di vaccini e di farmaci e allertare in anticipo i sistemi sanitari dei paesi colpiti.

Previsioni in tempo reale

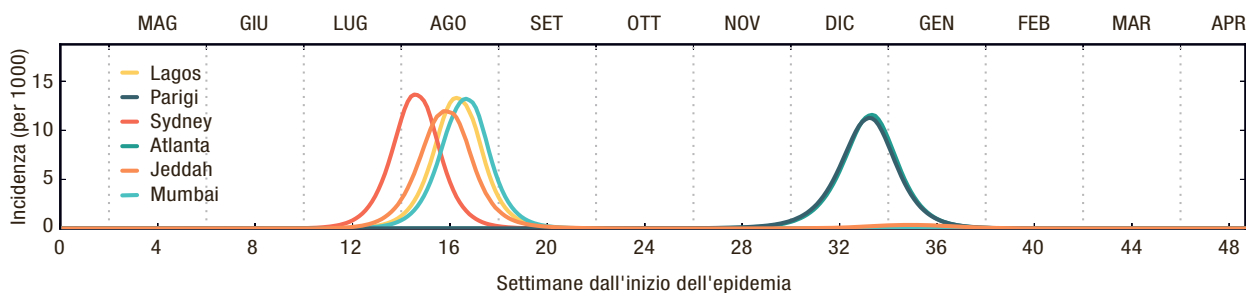
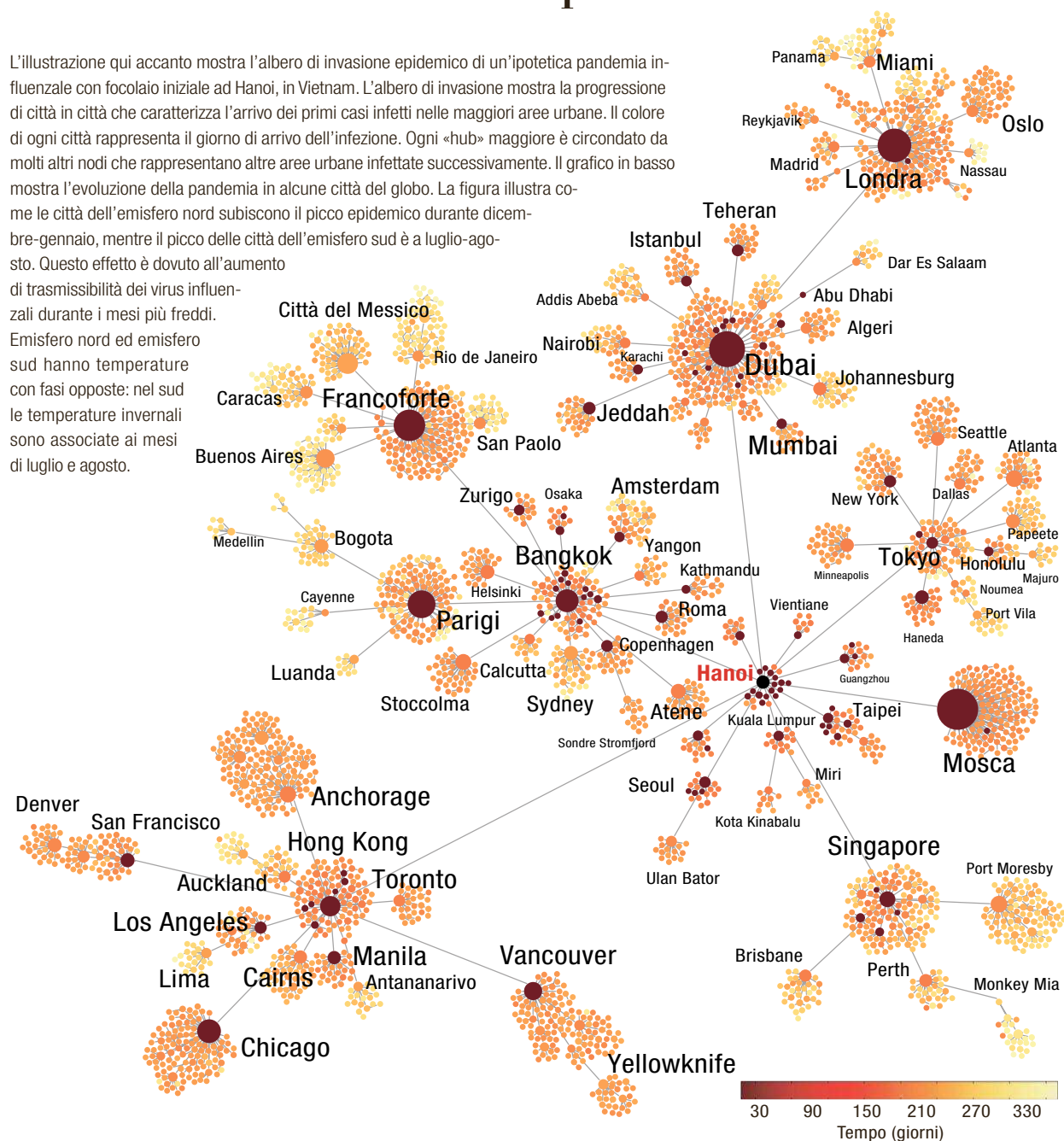
Durante le emergenze sanitarie, gli epidemiologi computazionali devono confrontarsi con i problemi del mondo reale. Inizialmente i dati che descrivono i meccanismi di trasmissione dell'infezione non sono completi. Lo stesso si può dire per il numero di casi osservati sul campo, dove la confusione che si crea durante le emergenze genera dati inconsistenti e molto spesso incompleti. Per ovviare a questi problemi i modelli devono essere calibrati tramite sofisticate analisi statistiche, basandosi spesso su ipotesi che possono essere verificate solo con analisi di sensitività dei risultati rispetto all'evidenza sperimentale che emerge dai dati.

Questo processo richiede la campionatura dei parametri e delle ipotesi del modello tramite un gran numero di simulazioni numeriche. I risultati di queste simulazioni sono confrontati con i dati disponibili per definire gli intervalli di credibilità dei parametri che determinano il modello e le sue previsioni. Questa operazione di calibrazione deve essere ripetuta via via che nuovi dati si rendono disponibili; così si riduce l'incertezza sui risultati e allo stesso tempo si rappresenta la conoscenza sempre più vasta che viene accumulata in merito ai processi che determinano la propagazione dell'epidemia. Ovviamente la produzione di un gran numero di simulazioni diventa un problema che richiede l'uso di supercomputer e di tecniche algoritmiche in grado di fornire risultati in tempo reale. Durante la campagna di simulazione dell'epidemia di Zika in America Latina il mio gruppo ha dovuto gestire la creazione di oltre 750.000 macchine virtuali nel *cloud* per eseguire in tempo reale calcoli che avrebbero richiesto 110 anni su un singolo *desktop* di ultima generazione. L'epidemiologia computazionale diventa quindi un campo di ricerca in cui anche le scienze informatiche svolgono un ruolo primario nel risolvere i problemi di gestione dati e ottimizzazione algoritmica.

Oltre a permettere di lavorare con i grandi modelli, le nuove tecnologie informatiche permettono anche di accedere alla ricchezza di informazione generata da nuove fonti di dati come i social media. Per esempio il mio gruppo ha lavorato per mesi all'analisi quotidiana di oltre 800.000 post su Twitter per estrarre

Una simulazione per l'influenza

L'illustrazione qui accanto mostra l'albero di invasione epidemico di un'ipotetica pandemia influenzale con focolaio iniziale ad Hanoi, in Vietnam. L'albero di invasione mostra la progressione di città in città che caratterizza l'arrivo dei primi casi infetti nelle maggiori aree urbane. Il colore di ogni città rappresenta il giorno di arrivo dell'infezione. Ogni «hub» maggiore è circondato da molti altri nodi che rappresentano altre aree urbane infettate successivamente. Il grafico in basso mostra l'evoluzione della pandemia in alcune città del globo. La figura illustra come le città dell'emisfero nord subiscono il picco epidemico durante dicembre-gennaio, mentre il picco delle città dell'emisfero sud è a luglio-agosto. Questo effetto è dovuto all'aumento di trasmissibilità dei virus influenzali durante i mesi più freddi. Emisfero nord ed emisfero sud hanno temperature con fasi opposte: nel sud le temperature invernali sono associate ai mesi di luglio e agosto.

Cortesia Alessandro Vespignani

quelli con riferimenti a tosse e febbre in modo inizializzare i modelli per la previsione della stagione influenzale negli Stati Uniti. Nuove applicazioni sui dispositivi mobili permettono di creare reti di cittadini che trasmettono volontariamente il proprio stato di salute in tempo reale. Un esempio è la rete europea Influenzanet (in Italia Influweb), che permette il monitoraggio della stagione influenzale tramite 40.000 volontari in 12 paesi europei. In altre parole, l'arsenale disponibile nella continua battaglia contro le epidemie si è arricchito di una moltitudine di approcci e tecnologie che definiscono la cosiddetta epidemiologia digitale.

I dati di Influenzanet per esempio sono parte del rapporto epidemiologico settimanale sulla sorveglianza integrata dell'influenza dell'Istituto superiore di Sanità in Italia, e dal 2012 il Center for Disease Control (CDC) degli Stati Uniti raccoglie le previsioni di una dozzina di modelli computazionali per la previsione influenzale in una *challenge* pubblica. L'approccio digitale rafforza quindi i classici sistemi di sorveglianza di salute pubblica, fornendo dati complementari e in tempo reale che possono essere usati nei sistemi di epidemiologia predittiva di ultima generazione.

Oltre le previsioni

I successi, e talvolta gli insuccessi, dei modelli previsionali epidemici sono stati spesso oggetto dell'attenzione dei mezzi di comunicazione e del pubblico. In situazioni di crisi come l'epidemia di Ebola del 2014 era ovvio che tutti i modelli e i loro risultati fossero costantemente esaminati rispetto all'evoluzione successiva dell'epidemia dalle maggiori istituzioni sanitarie, come Organizzazione mondiale della Sanità, CDC e Centro europeo per la prevenzione e il controllo delle malattie. Durante l'epidemia non tutte le previsioni iniziali sono state accurate. In particolare alcune proiezioni che stimavano il numero di casi molti mesi in anticipo hanno prodotto una notevole sovrastima di quello che si è poi avverato nella realtà. I modelli di altri gruppi di ricerca, tra i quali anche il nostro, sono stati più accurati, e sono arrivati molto vicini al numero di casi reali di oltre 28.000 contagi e 11.000 decessi. Come nel caso delle previsioni meteorologiche, la discussione riguardo all'evoluzione dell'epidemia deve considerare l'uso di un insieme di modelli, sviluppati con tecniche differenti da una pluralità di gruppi di ricerca, che sono pesati rispetto alle loro prestazioni storiche. Questo approccio permette di definire il cosiddetto «cono di incertezza», ovvero l'errore statistico associato alle previsioni, che ovviamente cresce con l'aumentare dell'orizzonte temporale considerato.

Le simulazioni spesso portano a risultati non intuitivi, dovuti alla complessità dei sistemi epidemiologici

L'importanza dei modelli computazionali in campo epidemiologico va ben oltre la semplice predizione del numero di casi di una malattia tra una o due settimane. Più in generale, i modelli predittivi forniscono scenari e analisi quantitative che sostengono e informano la pianificazione degli interventi e delle decisioni in materia di salute pubblica. Per esempio, i modelli possono simulare misure di contenimento basate sulla restrizione della mobilità degli individui. Può essere studiato come varia il numero di individui infetti importati in una nazione a fronte della riduzione di viaggiatori provenienti dalle destinazioni colpite dall'epidemia. Ciò permette di analizzare i benefici e i costi delle politiche per la riduzione dei voli o la chiusura delle frontiere come è successo durante l'epidemia di Ebola. Possiamo analizzare diversi scenari per la distribuzione di vaccini o medicinali, o la chiusura di scuole e posti di lavoro per rallentare la diffusione del contagio. Tutti questi scenari possono essere studiati solo al computer, dato che la loro realizzazione reale non solo ha costi enormi ma anche effetti non reversibili.

Inoltre, spesso le simulazioni al computer portano a risultati non intuitivi che difficilmente possono essere derivati da analisi non quantitative. La dinamica non lineare dei sistemi epidemiologici non è sempre trasparente, e un qualunque cambiamento nei termini delle equazioni che descrivono la trasmissione non si riflette proporzionalmente nei risultati ottenuti. Un esempio classico è offerto della restrizione della mobilità degli individui che produce effetti limitati nel contenimento delle epidemie anche a fronte di riduzioni drastiche di oltre il 50 per cento dei flussi di traffico aereo nazionale e internazionale. Nelle simulazioni si osserva che questo tipo di riduzione porta a ritardi nella diffusione epidemica di solo poche settimane a fronte di un costo economico praticamente insostenibile per le compagnie aeree mondiali, e con effetti domino in altri comparti economici. Basta pensare che la Banca Mondiale ha stimato in 2,2 miliardi di dollari la perdita totale nel 2015 per i paesi colpiti dall'epidemia di Ebola. Questa analisi è stata importante anche nel discutere le politiche di controllo delle frontiere durante la crisi, quando molti paesi pensavano a un isolamento internazionale per le regioni colpite dall'epidemia.

Un altro esempio dell'importanza delle simulazioni è rappresentato dalle situazioni in cui è impossibile acquisire i dati sperimentali sul campo. Come nel caso di Zika, un virus trasmesso da persona a persona tramite la puntura di zanzare *Aedes aegypti* e *Aedes albopictus* (zanzara tigre). Questo virus è conosciuto fin dagli anni cinquanta, ed è endemico in alcune regioni di Africa e Asia. Solo nel 2015 nel nord del Brasile si è notato un incremento anomalo dei casi di microcefalia, messa in relazione con l'infezione da Zika in donne in stato di gravidanza. Nel febbraio 2016 l'Organizzazione mondiale della Sanità ha dichiarato un'urgenza di sanità pubblica di portata internazionale, dato che il virus non era mai stato osservato in America Latina. Da quel momento la marcia di Zika attraverso Sud America, Caraibi e infine Stati Uniti è registrata dai servizi di controllo sanitari che cominciano a individuare pazienti infetti tramite la positività sierologica agli anticorpi specifici.

Ma prima della seconda metà del 2015 la storia di Zika in America Latina rimane pressoché sconosciuta, dato che nessun istituto di sanità aveva eseguito analisi specifiche. I modelli diventano allora l'unico modo per aprire una finestra sul passato del virus. In questo caso i modelli devono non solo considerare i dati relativi alla popolazione e alla sua mobilità, ma anche i dati relativi ad abbondanza di zanzare, clima, cambiamenti di temperatura durante l'anno e a tutti i fattori che possono determinare la trasmissione del virus dall'essere umano alle zanzare e viceversa. Per esempio, i dati emersi dalle analisi del nostro gruppo con un modello che ha simulato la diffusione dell'epidemia in America Latina hanno sorprendentemente indicato che l'introduzione di Zika in Brasile è avvenuta al più tardi nei primi mesi del 2014, ovvero quasi due anni prima della grande ondata di casi osservata nel 2016. In questo caso i modelli sono uno strumento per ricreare l'evoluzione dell'epidemia e potenzialmente risolvere i molti puzzle relativi all'impatto passato dell'epidemia in altre regioni dell'America Latina (*si veda il box nella pagina a fronte*).

L'andamento di Zika in Sud America

Le illustrazioni mostrano il numero di casi di Zika in Sud America e nei Caraibi dall'inizio dell'epidemia fino al gennaio 2017. Le mappe mostrano la grande eterogeneità dell'incidenza di questo virus che dipende sia da fattori socioeconomici che dalla presenza di zanzare in grado di sostenere la trasmissione dell'epidemia. Queste mappe sono state generate con un modello computazionale ad alta risoluzione (ogni punto è un chilometro quadrato) che necessita dell'uso parallelo di oltre 10.000 processori di ultima generazione per risolvere a livello globale la dinamica dell'epidemia in oltre 10.000.000 di simulazioni che includono oltre alla popolazione umana anche la dinamica delle popolazioni di zanzare.

La battaglia contro la prossima pandemia

Negli ultimi decenni abbiamo assistito a molte importanti pietre miliari della storia della medicina, come l'introduzione degli antibiotici, l'eliminazione del vaiolo e la quasi totale eliminazione della poliomielite. Queste vittorie ci hanno fatto credere di essere vicini alla sconfitta delle malattie infettive una volta per tutte. Purtroppo gli ultimi anni sono stati una doccia fredda. Eventi come la pandemia influenzale del 2009, responsabile di oltre 280.000 morti nel mondo, l'epidemia di Ebola in Africa occidentale nel 2014 con oltre 11.000 morti e l'epidemia di Zika responsabile di milioni di infezioni in America Latina nel 2016 ci hanno dimostrato quanto la nostra società sia fragile rispetto alla minaccia di virus e batteri. Viviamo in un mondo sempre più interconnesso e interdipendente, in cui le epidemie si diffondono usando i grandi *hub* aeroportuali del mondo. Una nuova epidemia in una remota zona dell'Africa diventa una minaccia globale dall'impatto potenzialmente devastante.

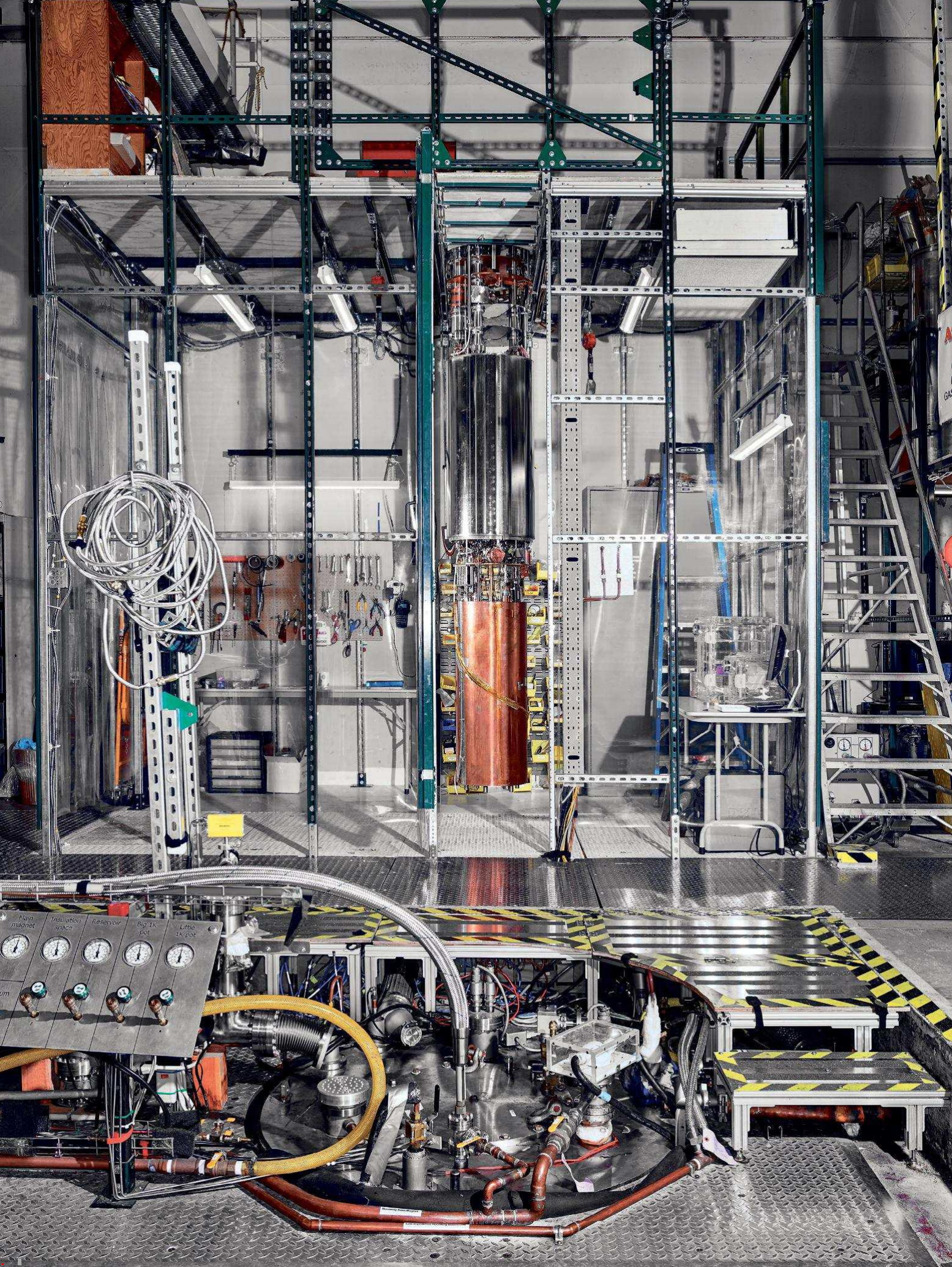
In questo panorama i modelli numerici che descrivono la diffusione epidemica hanno avuto un ruolo sempre più attivo durante varie crisi internazionali. Dobbiamo però essere consapevoli dei molteplici limiti teorici e tecnologici che devono ancora essere superati. Per esempio, mentre gli uragani non si preoccupano delle nostre previsioni, le persone cambiano il loro comportamento in base alla consapevolezza e alla conoscenza dei rischi posti da un'epidemia. La modellizzazione in tempo reale del ciclo di *feedback* tra progressione della malattia e adattamento comportamentale dei sistemi sociali è ancora un problema importante, che influisce sul potere predittivo dei modelli. Un altro problema è l'assenza di una comprensione sistematica delle prestazioni predittive di diversi tipi di modelli. In che modo la precisione della previsione si basa sulla complessità dei modelli? Come influisce la qualità dei dati sull'affidabilità o sulla precisione, ovvero sugli intervalli di confidenza, dei modelli predittivi epidemici? Queste e molte altre domande fondamentali sono ancora oggetto di ricerca da parte di gruppi di diversi paesi del mondo che cercano di far avanzare questo settore verso nuovi obiettivi di affidabilità e precisione.

In questo panorama, c'è urgente bisogno di sviluppare le collaborazioni e le iniziative scientifiche necessarie per promuovere l'epidemiologia computazionale. Non si tratta di *se* ma di *quando*. Combatteremo di sicuro un'altra battaglia contro una pandemia, e questa è una chiamata alle armi che dovrebbe riunire l'intero mondo della ricerca, nonché la società civile. ■

PER APPROFONDIRE

The Parable of Google Flu: Traps in Big Data Analysis. Lazer D., Kennedy R., King G., Vespignani A., in «Science», Vol. 343, n. 6176, pp. 1203-1205, 2014.

Spatiotemporal Spread of the 2014 Outbreak of Ebola Virus Disease in Liberia and the Effectiveness of Non-Pharmaceutical Interventions: A Computational Modelling Analysis. Merler S., Ajelli M., Vespignani A. e altri, in «The Lancet Infectious Diseases», Vol. 15, n. 2, pp. 204-211, febbraio 2015.

Spread of Zika virus in the Americas. Zhang Q., Sun K., Chinazzi M., Vespignani A. e altri, in «Proceedings of the National Academy of Sciences», Vol. 114, n. 22, E4334-E4343, 2017.

Main magnet
Insulation space
Reservoir
Big 1K pot
Little 1K pot

ALLA RICERCA DELLA MATERIA OSCURA

ASTROFISICA

Negli Stati Uniti un esperimento tenta di rilevare particelle ipotetiche chiamate assioni per spiegare la massa nascosta dell'universo

di Leslie Rosenberg

Il grande cilindro dell'esperimento ADMX è custodito in una camera pulita. Presto verrà trasferito in un altro ambiente per poi iniziare un nuovo ciclo sperimentale.

Fotografie di Ian Allen

Leslie Rosenberg è professore di fisica all'Università del Washington. Cerca la materia oscura fatta di assioni da più di vent'anni.

Il cosmo è fatto per la maggior parte di qualcosa che non possiamo vedere.

È la conclusione che gli astronomi iniziarono a raggiungere negli anni trenta osservando gli ammassi di galassie, che dovrebbero disgregarsi se non ci fosse qualche «materia oscura» che li tiene insieme. Gli scienziati presero l'idea più sul serio negli anni settanta, quando gli astronomi che studiavano la velocità di rotazione delle galassie osservarono lo stesso fenomeno. Presto i ricercatori capirono che era improbabile che la materia oscura fosse costituita da materia e radiazioni normali, e ormai sembra quasi inevitabile che oltre il 90 per cento di quello che c'è nell'universo e che è attratto dalla gravità sia una sostanza esotica, forse una nuova particella rimasta dai tempi del big bang.

Per molto tempo il candidato più popolare per la materia oscura sono state le ipotetiche WIMP, da *weakly interacting massive particle* (particella dotata di massa e debolmente interagente), che rientrano nella teoria molto amata ma anch'essa ipotetica della supersimmetria. Tuttavia i sensibili rivelatori terrestri di WIMP non hanno trovato segni di queste particelle nonostante decenni di ricerche. Sicuramente è troppo presto per scartare le WIMP, ma questa assenza di risultati ha migliorato le possibilità dei candidati non-WIMP per la materia oscura.

Un candidato meno conosciuto è l'assione, un'altra particella teorica che peserebbe assai meno delle WIMP ma avrebbe un'analoga tendenza a ignorare la materia normale. Se la materia oscura è costituita da assioni, allora queste particelle abbondano ovunque: ne potrebbero fluttuare milioni di miliardi in ogni centimetro quadrato intorno a noi. I loro unici effetti sul resto dell'universo si percepirebbero attraverso la gravità: la loro massa complessiva sarebbe abbastanza rilevante da alterare le orbite delle stelle all'interno delle galassie e delle galassie all'interno degli ammassi.

Da più di vent'anni faccio parte dell'Axion Dark Matter Experiment (ADMX), che cerca queste particelle. Pur non avendole ancora trovate, stiamo migliorando continuamente la nostra tecnologia. Nel 2016 ADMX ha iniziato una nuova fase: adesso è così sensibile che entro i prossimi dieci anni dovrebbe essere in grado o di rilevare gli assioni o di escluderne le versioni più plausibili. Siamo a una soglia importante, e in entrambi i casi sono in arrivo notizie interessanti.

L'origine degli assioni

Ero un dottorando negli anni ottanta, poco dopo i primordi dell'idea degli assioni, nati da un problema della cromodinamica quantistica (QCD). Questa teoria governa l'interazione forte, che tiene insieme i nuclei atomici. Nel corso degli esperimenti si è mostrata straordinariamente coerente, tranne quando si ha a che fare con una cosa detta «problema della CP forte». (CP sta per «carica-parità».) La QCD prevede che se ribaltassimo la carica-parità

IN BREVE

Gli scienziati stanno cercando particelle invisibili grazie a cui spiegare la «materia oscura» che sembra esercitare un'attrazione gravitazionale sulla materia ordinaria dell'universo.

Un candidato di minoranza è l'assione, cioè una particella teorica che potrebbe non solo far luce sulla materia oscura ma anche risolvere un mistero sull'«interazione forte» che tiene insieme i nuclei atomici.

Una collaborazione chiamata Axion Dark Matter Experiment (ADMX) è alla ricerca di questi assioni, e di recente è entrata in una nuova fase. Adesso ADMX è abbastanza sensibile da poter scoprire le versioni più plausibili degli assioni o da confutarne l'esistenza.

I CONCORRENTI

In gara per la materia oscura

Sembra che qualcosa di invisibile eserciti un'attrazione gravitazionale sulla materia normale nelle galassie e negli ammassi in tutto il cosmo, ma di che cosa si tratta? Gli scienziati hanno teorizzato varie spiegazioni per la «materia oscura» che pensano rappresenti quasi un quarto della massa e dell'energia totali dell'universo. Queste possibilità rientrano in varie categorie, come riassunto qui.

Tutta la massa e l'energia nell'universo

5%: Materia barionica
Composta da atomi, questo tipo di materia costituisce tutte le galassie, le stelle, i pianeti e le persone. È l'unica che possiamo vedere direttamente.

68%: Energia oscura
La maggior parte dell'universo sembra essere «energia oscura», il nome dato dagli scienziati a qualunque cosa stia facendo accelerare l'espansione dello spazio.

27%: Materia non barionica
La materia oscura, pensano gli scienziati, è al di là dei tipi noti di particelle. Interagisce solo molto raramente, o per niente, con la materia ordinaria, a eccezione della forza di gravità.

?

Le osservazioni suggeriscono che la maggior parte della materia oscura sia «fredda», il che significa che viaggia a velocità molto inferiori a quella della luce e quindi si aggrega più della materia oscura «calda», in rapido movimento.

Fredda

Calda

WIMP
Le «particelle dotate di massa debolmente interagenti» sono state a lungo il candidato favorito, ma non sono mai apparse negli esperimenti.

Assioni
Molto più leggeri delle WIMP, gli assioni devono essere più abbondanti per dare la stessa massa all'universo.

Neutrini pesanti sterili
Un nuovo tipo di neutrino, oltre le tre varietà già conosciute, potrebbe interagire ancora meno con le particelle normali.

Buchi neri con massa piccola
A fornire la massa nascosta dell'universo potrebbe essere anche un gran numero di buchi neri di piccola massa.

Altro
I teorici hanno immaginato molte altre possibilità, fra cui particelle che interagiscono attraverso nuove forze fondamentali e «atomi» di materia oscura che comprendono analoghi oscuri di protoni, neutroni ed elettroni.

Grafica di Jen Christiansen

di una particella, cioè cambiassimo segno alla sua carica elettrica e la guardassimo allo specchio, non seguirebbe più le stesse leggi fisiche. Tuttavia non è stata trovata nessuna prova che le cose stiano così. Questo conflitto tra teoria ed esperimento presenta un serio enigma, una crepa nel nostro migliore modello per la fisica delle particelle. La crepa è il problema della CP forte, e fa pensare che ci sfugga qualcosa di grosso.

Nel 1977, quando i fisici Helen Quinn e Roberto Peccei lavoravano entrambi presso quello che è ora lo SLAC National Accelerator Laboratory, capirono che potevano attaccare il problema della CP forte in modo semplice ed elegante usando l'idea di rottura delle simmetrie. Questo concetto, una delle idee ricorrenti in fisica, funziona così: a volte la natura non è simmetrica quando sembra che lo debba essere. Per esempio, se mettiamo una matita in equilibrio sulla punta c'è una simmetria rotazionale per cui la caduta in una qualsiasi direzione è ugualmente probabile. Ma che cosa succede se cade sempre in una stessa direzione? Diremmo che la natura ha compiuto una scelta e ha «rotto» la simmetria. Quando questo avviene nel contesto della fisica delle particelle appare una nuova particella per mantenere la simmetria sottostante sebbene, superficialmente, sembri spezzata. (Non è detto che la simmetria sia ovvia; può essere una simmetria astratta della struttura matematica che c'è dietro.)

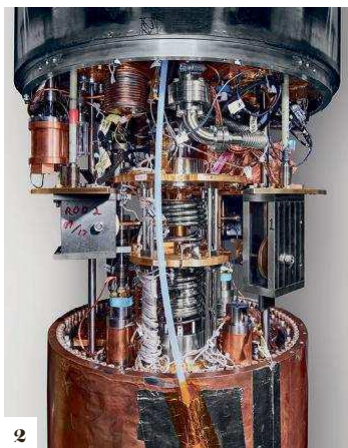
Con un'intuizione che mi sembrava geniale, Quinn e Peccei applicarono questa idea all'interazione forte, ipotizzando che fosse stato infranto un tipo nascosto di simmetria relativo a questa forza. Se così fosse, si annullerebbe la differenza di CP attesa, che la teoria aveva previsto ma che non si era osservata negli esperimenti. Problema risolto. Poco tempo dopo, con un'altra brillante trovata, Steven Weinberg, ora all'Università del Texas ad Austin, e Frank Wilczek, ora al Massachusetts Institute of Technology (MIT), capirono che il cosiddetto meccanismo di Peccei-Quinn avrebbe avuto come risultato una nuova particella: l'assione. (Il folklore della fisica dice che il nome, *axion* in inglese, è stato preso da quello di un detersivo per lavatrice perché «ripuliva» il problema della CP forte.) Verso la metà degli anni ottanta i fisici teorici conclusero che il big bang poteva aver prodotto una quantità sufficiente di assioni per rendere conto della materia oscura.

Eppure la teoria non ci diceva quanto dovessero essere pesanti gli assioni o che probabilità avessero di interagire con la materia normale. Sapevamo, però, che dovevano essere piuttosto inerti, perché fino ad allora i collisori di particelle e altri esperimenti non li avevano osservati, e per essere così inerti dovevano avere anche una massa molto leggera. E nel 1987 un grande evento cosmico limitò ulteriormente le possibilità per la massa dell'assione: fu quando una supernova esplose nella Grande Nube di Magellano, una galassia nana vicina. Quasi l'intera energia di legame gravitazionale della stella collassata sfuggì sotto forma di neutrini, alcuni dei quali raggiunsero i rivelatori sotterranei qui sulla Terra.

Se gli assioni avessero una massa anche solo di qualche millielettronvolt diviso per la velocità della luce al quadrato (meV/c^2, qualcosa più di un miliardesimo della massa dell'elettrone), ne sarebbero stati prodotti nell'esplosione e avrebbero distorto il tempo di fuga dei neutrini mentre viaggiavano verso la Terra. Poiché gli

esperimenti non hanno osservato distorsioni del genere, ne abbiamo dedotto che gli assioni devono avere una massa inferiore. Questi assioni leggeri hanno interazioni straordinariamente deboli con la materia e le radiazioni normali. Per esempio, una particella relativamente ordinaria che si chiama pione neutro decade in due fotoni circa una volta ogni 10^{-16} secondi. Un assione leggero decadrebbe in due fotoni una volta ogni 10^{45} anni, il che è di molti, ma molti ordini di grandezza più grande dell'età dell'universo. L'assione sarebbe quindi di gran lunga la particella meno interagente conosciuta.

È interessante notare che se la massa dell'assione è troppo piccola abbiamo nuovi problemi. A causa delle complessità del processo con cui presumibilmente si formarono gli assioni poco dopo l'inizio dell'universo, minore è la massa dell'assione, maggiore è la densità risultante della massa degli assioni. Se la massa dell'assione fosse troppo piccola, il big bang ne avrebbe prodotti molti più del necessario per spiegare la materia oscura. Ci sono incertezze importanti a proposito di questo meccanismo, e i teorici hanno trovati metodi sottili per eludere il problema ma, secondo me, diventa sempre meno plausibile avere assioni con masse molto inferiori a un microelettronvolt diviso per c^2 ($\mu eV/c^2$).

Per ricapitolare: gli assioni non possono essere troppo pesanti, altrimenti li avremmo già osservati con i collisori di particelle o attraverso i loro effetti sulle supernove; d'altro canto non possono essere troppo leggeri, altrimenti ci sarebbe troppa materia oscura.

Scienziati fissano i sensori nella parte interna dell'esperimento (*1*). Sopra, la cavità interna rivestita di rame si trova un serbatoio di elio liquido che circonda i circuiti (*2*).

Determinare quali siano esattamente questi limiti di massa è molto impegnativo, ma un intervallo accettabile per le masse possibili per gli assioni della materia oscura è compreso fra 1 $\mu eV/c^2$ e 1 meV/c^2. Questo intervallo contiene valori né troppo alti né troppo bassi, ma particelle con queste caratteristiche sarebbero così poco reattive nei confronti della materia e delle radiazioni normali che sono stati soprannominati «assioni invisibili».

La grande idea di Sikivie

Quando Quinn e Peccei teorizzarono per la prima volta l'esistenza degli assioni, i fisici dello SLAC e di altri laboratori cominciarono a cercare queste particelle nelle esplosioni prodotte nei collisori. Però le proprietà stesse che rendono l'assione così attraente come candidato per la materia oscura – le sue deboli interazioni con la materia e con la radiazione ordinaria – non lasciavano speranze a queste ricerche. Era frustrante sapere che potremmo essere immersi in un denso mare di particelle – circa 10 milioni di miliardi di assioni o più per centimetro cubo – che tuttavia è impossibile rilevare in laboratorio.

Allora Pierre Sikivie, dell'Università della Florida, ebbe un'idea geniale: anziché cercare di generare gli assioni negli acceleratori potremmo cercare gli assioni cosmici che formano il vasto, onnipresente mare di materia oscura che ci circonda. Sikivie immaginò un campo magnetico all'interno di una cavità cilindrica completamente vuota tranne, presumibilmente, gli assioni cosmici che pervadono tutto lo spazio. Se un assione interagisse con

Illustrazione di Don Foley

il campo magnetico, la sua energia totale si convertirebbe quasi del tutto in un fotone. Questa interazione si verifica con probabilità molto più elevata se la cavità è sintonizzata in modo da risonare alla stessa frequenza del fotone prodotto dall'assione. Dato che la massa degli assioni è molto piccola, e che quelli cosmici vicino a noi presumibilmente si muovono a velocità simili al resto della Via Lattea, la loro energia è minuscola, quindi il fotone risultante dovrebbe essere dalle parti dello spettro alle frequenze delle microonde. Dove di preciso, però, sarà un mistero finché non conosceremo la massa esatta dell'assione. Per questo motivo, gli sperimentatori dovrebbero regolare continuamente la frequenza di risonanza della cavità dell'esperimento per passare in rassegna tutto l'intervallo possibile, sperando di centrare quella giusta per l'assione.

Il segnale risultante sarebbe molto lieve, forse 10^{-21} watt o meno, e accompagnato da un rumore di potenza analoga. Ma rivelatori di microonde molto sensibili, che raccogliessero il segnale per un tempo sufficientemente lungo, dovrebbero essere all'altezza del compito. Due dei miei grandi amori sono i circuiti radiofonici e la fisica delle particelle, e quindi per me le idee di Sikivie si uniscono in modo perfetto.

Nasce l'ADMX

Ho ricevuto il dottorato allo SLAC negli anni ottanta, quando l'influenza di Quinn e Peccei era ancora presente, e gli assioni mi colpirono molto. Sembravano risolvere due enormi misteri della fisica: il problema della CP forte e la questione della materia oscura. E dopo il lavoro di Sikivie pareva che ci potesse essere anche un modo per rilevarli.

Dallo SLAC mi sono trasferito all'Università di Chicago, dove ho avuto il privilegio di lavorare con lo scomparso James W. Cronin, come Enrico Fermi Fellow. Lì sono venuto a sapere dei primi tentativi di mettere in pratica l'idea di Sikivie, fra cui l'esperimento di Rochester-Brookhaven-Fermilab e un progetto all'Università della

Florida. Entrambi erano privi della sensibilità necessaria per rilevare gli assioni nella gamma di massa plausibile, ma hanno sviluppato l'hardware di base usato negli esperimenti successivi.

Mentre ero a Chicago ho avuto modo di parlare con Karl van Bibber, all'epoca del Lawrence Livermore National Laboratory, e con David Tanner, dell'Università della Florida, e abbiamo capito che potevamo migliorare questi tentativi. Potevamo iniziare creando un grande volume cavo contenente un intenso campo magnetico che ci avrebbe avvicinati alla sensibilità che volevamo. Per fare il resto sapevamo che sarebbero serviti migliori amplificatori nelle microonde. Erano la chiave per poter captare e amplificare il debolissimo segnale a microonde che ci aspettavamo producessero gli assioni, ma gli amplificatori nelle microonde a transistor disponibili all'epoca erano troppo rumorosi. Volevamo un amplificatore il cui unico limite fosse il rumore inevitabile prodotto dall'indeterminazione della meccanica quantistica, ma non ne esistevano ancora nella nostra gamma di frequenze.

Così fu concepito il programma ADMX: saremmo partiti con un grande magnete, i migliori amplificatori nelle microonde disponibili ed elio liquido per raffreddare l'esperimento fino a 4,2 kelvin per ridurre il rumore. Nel medio termine ci saremmo concentrati sullo sviluppo di amplificatori nelle microonde fino ai limiti quantistici. A lungo termine avremmo aggiunto un «refrigeratore a diluizione», cioè un sistema che avrebbe raffreddato la cavità e gli amplificatori a temperature intorno ai 100 millikelvin, riducendo così il rumore. Era un programma ambizioso: ogni fase avrebbe richiesto circa un decennio. Fortunatamente, avevamo il sostegno della divisione per la fisica delle alte energie del Department of Energy e un progetto che ci avrebbe guidato.

I primi anni

Nel 1993 mi sono trasferito al MIT come *assistant professor*, e una volta lì abbiamo formato una collaborazione per iniziare l'esperimento. Il Lawrence Livermore National Laboratory fornì un grande magnete superconduttore e il sito per l'esperimento. Wolfgang Stoeffl, talentuoso fisico del Lawrence Livermore, realizzò il progetto criogenico iniziale, e ancora oggi usiamo gran parte del suo ingegnoso apparato. Tanner concepì e sviluppò il cuore dell'esperimento in gran parte sulla base del precedente progetto all'Università della Florida, e il nostro gruppo al MIT costruì un ricevitore di microonde a bassissimo rumore per raccogliere il segnale. Nel 1998 pubblicammo i primi risultati di questa «fase 0» dell'ADMX: il primo esperimento sensibile a possibili assioni di materia oscura. Non avevamo trovato le inafferrabili particelle, ma eravamo partiti bene.

Nel frattempo andavamo avanti con la ricerca di un amplificatore che fosse sensibile ai deboli segnali a microonde che ci aspettiamo producano gli assioni. In quel periodo seguii una conferenza di John Clarke, un geniale fisico dei dispositivi quantistici dell'Università della California a Berkeley, sull'amplificazione quantistica. Clarke lavorava sui cosiddetti dispositivi superconduttori a interferenza quantistica (SQUID), che sfruttano l'effetto tunnel quantistico, cioè la capacità di una particella di attraversare muri o barriere che un oggetto macroscopico non potrebbe superare. Se nell'esperimento fosse apparso un fotone, avrebbe indotto nello SQUID un piccolo campo magnetico che avrebbe disturbato questo effetto tunnel in modo misurabile. I dispositivi avevano una sensibilità estrema, ma non ne esistevano ancora per i segnali alla frequenza delle microonde. Per questa applicazione, Clarke sviluppò quello che viene chiamato un amplificatore «microstrip DC SQUID», un apparecchio con una geometria ingegnosa che permette allo SQUID di operare a frequenze più elevate.

Il piano era promettente, ma c'era ancora qualche problema. I minuscoli campi magnetici del segnale dello SQUID sarebbero stati sommersi dal campo ben più intenso all'interno della cavità di ADMX. Il Department of Energy esaminò il nostro progetto e classificò il problema con lo SQUID come «ad alto rischio». A questo punto, a inizio 2002, mi trasferii al Lawrence Livermore, e i miei collaboratori e io decidemmo di dividere ADMX in due fasi: la «fase 1a» avrebbe mostrato che gli SQUID funzionano nell'intenso campo magnetico dell'esperimento. Una successiva «fase 1b» avrebbe poi aggiunto il refrigeratore a diluizione che ci serviva per portare l'esperimento alle bassissime temperature necessarie.

Iniziammo la fase 1a sviluppando un sistema per proteggere il sensibile campo magnetico dello SQUID dall'enorme campo dell'esperimento. Ci riuscimmo con una serie di scudi e magneti uno dentro l'altro, attorno a un grande magnete chiamato «bobina di opposizione» che si sarebbe «opposta» al campo magnetico principale. A metà degli anni duemila avevamo dimostrato che questo sistema funziona e avevamo cominciato a lavorare sul refrigeratore a diluizione, l'elemento principale necessario per la fase 1b di ADMX.

Ora ADMX è così sensibile che nei prossimi cinque o dieci anni dovrebbe essere in grado di rilevare gli assioni o di escluderne le versioni più plausibili

L'esperimento cresce

A quel punto mi trasferii all'Università di Washington, e l'esperimento ADMX mi seguì in un sito nuovo e migliorato. Nel frattempo Department of Energy e National Science Foundation stavano concependo rivelatori di materia oscura «di seconda generazione» che dovevano essere enormi miglioramenti rispetto alla sensibilità dei metodi esistenti. La maggior parte degli esperimenti che avevano in mente cercavano le WIMP, ma erano interessati anche agli assioni. I nostri piani per la fase 1b di ADMX coincidevano con il programma per la seconda generazione, e così nacque ADMX Gen 2. Programmato per iniziare le operazioni nel 2016 e funzionare fino al 2021, ADMX Gen 2 aggiunge finalmente il refrigeratore a diluizione al nostro esperimento e inoltre porta la nostra raccolta di dati a una velocità più che doppia. Abbiamo aggiunto funzionalità importanti per migliorare la sensibilità dell'esperimento, che ora può effettuare una cosiddetta «ricerca definitiva», una scansione su un ampio spettro di possibili masse per gli assioni, da circa 1 a 40 $\mu eV/c^2$, il che include l'intervallo ideale in base alle previsioni sugli assioni di materia oscura.

L'ADMX ha molte parti complicate che devono funzionare tutte insieme, ma la maggioranza dei suoi sistemi ora è altamente sofisticata e affidabile. La collaborazione è cresciuta fino a comprendere Lawrence Livermore, Università della California a Berkeley, Università della Florida, Università di Washington, Washington University a St. Louis, Pacific Northwest National Laboratory, Los Alamos National Laboratory, Fermi National Accelerator Laboratory, National Radio Astronomy Observatory e Università di Sheffield, nel Regno Unito. C'è un nuovo gruppo dirigente

Ricercatori studiano i dati dei sensori di ADMX (*1*). Apparecchiature elettroniche a temperatura ambiente per le microonde che potrebbero essere prodotte nell'esperimento (*2*).

di ADMX, i cui co-portavoce sono Gray Rybka, dell'Università di Washington, e Gianpaolo Carosi, del Lawrence Livermore.

Anche se adesso esaminiamo la gamma di masse più probabile per gli assioni di materia oscura, c'è sempre la possibilità che la natura possa sorprenderci. Cercare in un intervallo di masse lievemente inferiori non è difficile, ma allestire il nostro esperimento in cerca di masse ancora più elevate sarebbe una sfida. Quando la massa dell'assione aumenta, deve aumentare anche la frequenza di risonanza della cavità, quindi deve diminuire il diametro della stessa, riducendo il volume disponibile per la ricerca di assioni.

Potremmo stipare un gran numero di cavità in un singolo magnete per mantenere il volume grande, ma avremmo un problema: la complessità di un sistema simile sarebbe scoraggiante. Potremmo anche accontentarci di una cavità piccola, a patto di poter aumentare l'intensità del campo magnetico per compensare. Un aumento simile è costoso, ma sono in corso ricerche su questa possibilità. Forse tra cinque o dieci anni l'accresciuta intensità del campo magnetico potrebbe ampliare la gamma di masse della nostra ricerca. A masse molto più elevate dell'assione – quelle vicine a 1 meV/c^2 – potremmo riuscire persino a osservare un segnale astrofisico dallo spazio. Se in questo intervallo esistono assioni e formano aloni di materia oscura attorno alle galassie, i radiotelescopi potrebbero individuare debolissime linee di emissione.

Un giorno ADMX e altri progetti saranno in grado di esplorare tutta la finestra teorica delle possibili masse dell'assione della materia oscura. Il fatto che l'intero intervallo delle masse plausibili sia accessibile agli esperimenti rende gli assioni un candidato allettante per la materia oscura, rispetto ad alcune alternative che potremmo non essere mai in grado di verificare completamente.

Mentre il nostro lavoro sperimentale procede, anche i teorici progrediscono nel comprendere la natura della materia oscura. Modelli cosmologici sofisticati, fatti girare su supercomputer, cercano previsioni più affidabili della massa dell'assione. È anche possibile, per esempio, che gli assioni abbiano una distribuzione diversa nell'universo rispetto a quella che avrebbero le WIMP, in modi sia sottili sia macroscopici. Futuri esperimenti astrofisici, come il Large Synoptic Survey Telescope, che dovrebbe iniziare le osservazioni nel 2019, potrebbero essere in grado di mappare la struttura a larga scala dell'universo a un livello elevato a sufficienza per distinguere tra i candidati per la materia oscura.

Un'altra possibilità è che gli assioni previsti dalla cromodinamica quantistica siano solo un riflesso di una teoria fisica più ampia esistente su una scala di energia più elevata. Una possibile teoria di questo tipo, la teoria delle stringhe, prevede assioni con masse molto più piccole di quelle sondate da ADMX. La teoria delle stringhe, tuttavia, è altamente speculativa, come lo sono le sue previsioni.

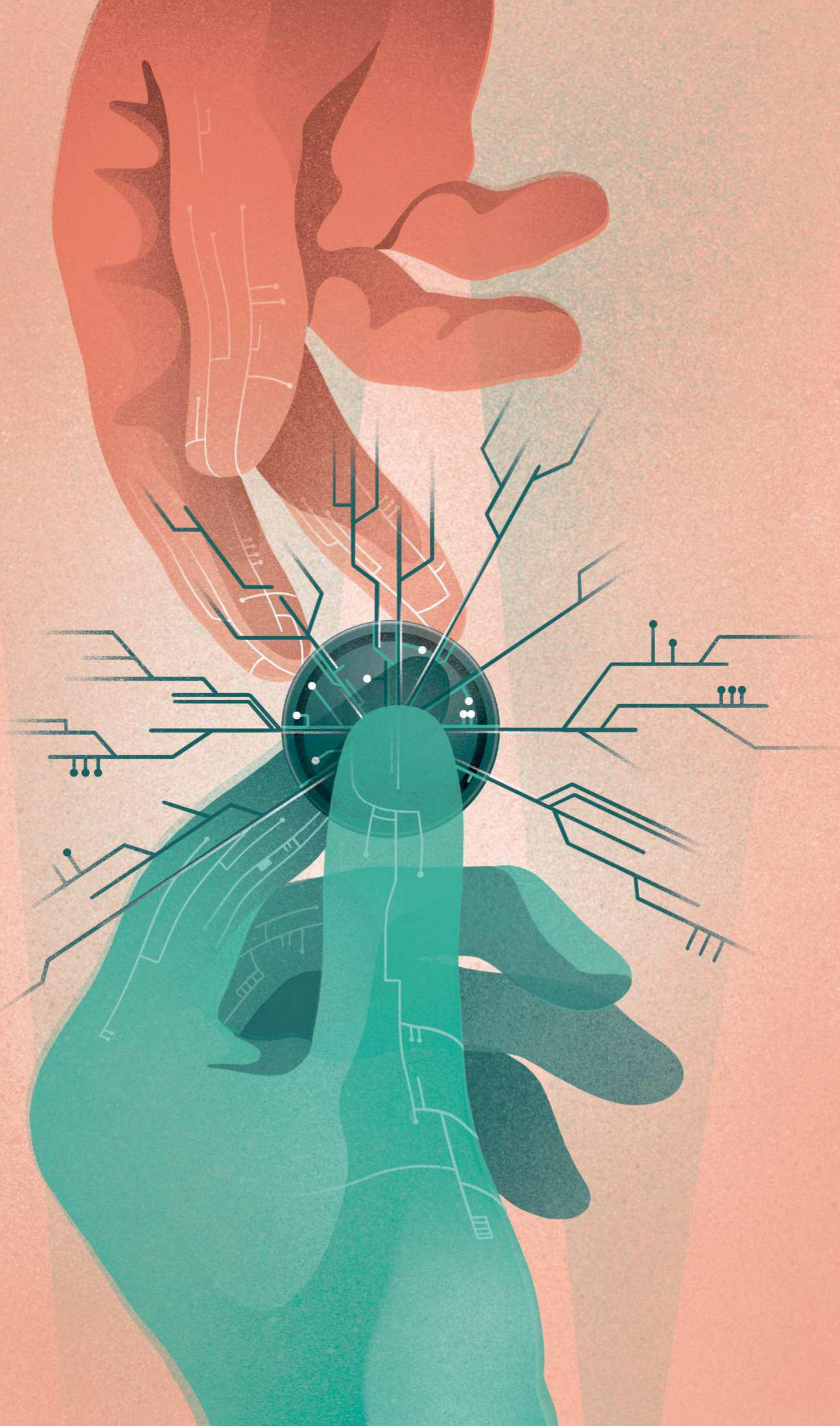
Vent'anni fa c'era quasi l'unanimità sul fatto che la materia oscura fosse composta da WIMP. Da allora l'attrattiva degli assioni è aumentata. In un futuro non troppo lontano dovremmo sapere se sono o meno la soluzione al mistero del lato invisibile del cosmo. ■

PER APPROFONDIRE

A New Light Boson? Weinberg S., in «Physical Review Letters», Vol. 40, n. 4, pp. 223-226, 23 gennaio 1978.

Axions, Domain Walls, and the Early Universe. Sikivie P., in «Physical Review Letters», Vol. 48, n. 17, pp. 1156-1159, 26 aprile 1982.

A caccia di materia oscura. Pallavicini M., in «Le Scienze» n. 572, aprile 2016.

DOSSIER

Il futuro del denaro

Il Bitcoin è stato solo l'inizio. Macchine che negoziano la fiducia senza intermediari umani potrebbero porre rimedio ai difetti più gravi del sistema finanziario, ma sollevano anche domande inquietanti. Siamo pronti per un mondo in cui ogni bene, dal denaro all'identità personale, può essere scambiato e tracciato in un «libro mastro» indelebile? E se una tecnologia pensata per togliere potere a banche e governi finisse invece per dar loro una possibilità di controllo senza precedenti?

La redazione

IL FUTURO DEL DENARO

Quando salta il banco

Reti finanziarie di nuovo tipo potrebbero bloccare la concentrazione della ricchezza e far crescere la partecipazione all'economia. Ma solo se usate con attenzione

di Alexander Lipton e Alex «Sandy» Pentland

In un giorno di primavera di oltre 5000 anni fa, nella città mesopotamica di Ur, un mercante straniero aveva appena venduto le sue merci in cambio di una grande quantità di argento. Non volendo portarsela a casa, visto che sapeva di dover tornare in città per comprare grano alla fine della stagione del raccolto, il mercante si recò al tempio, dove spesso erano custoditi i beni di valore, e chiese al sacerdote di tenere al sicuro il suo argento. Poco tempo dopo il nipote del sacerdote andò al tempio a chiedere un prestito. Voleva comprare sementi per il proprio campo, un desiderio che aveva toccato il cuore del sacerdote.

Così il sacerdote gli prestò una parte di quell'argento, pensando che se il nipote non riusciva a restituirlo prima che il mercante venisse a riprenderlo poteva comunque sopperire con i suoi fondi personali, o chiedere a sua volta un prestito a un amico.

Usando il contratto a lungo termine stipulato con il mercante straniero per sostenere un prestito a breve termine concesso al nipote, quel sacerdote aveva raddoppiato il numero di transazioni commerciali, usando due volte gli stessi soldi. In altre parole, aveva inventato il principio della riserva frazionaria.

In base alle prove archeologiche, sappiamo che in Mesopotamia accadde qualcosa del genere, che modificava profondamente l'ambiente finanziario in due modi. Primo, aumentava la produttività generale dell'economia, perché adesso il nipote poteva permettersi di seminare. Secondo, introduceva un rischio, perché poteva non riuscire a restituire il denaro in tempo.

Qualche millennio dopo, con l'emergere delle banche centrali sostenute dai governi nell'Europa del XVII secolo, questo «raddoppio della spesa» si legò alla tassazione. Il re si faceva prestare dai mercanti il denaro per fare la guerra o per costruire strade, e lo usava per pagare produttori di armi, fornitori e soldati. Quel denaro iniziava a circolare, generando così attività economica e profitti, e a ciascun passo il denaro raddoppiava, o addirittura di più. Il re tipicamente ripagava i prestiti prelevando un'imposta sui profitti: un primo, rudimentale circuito monetario, che ha segna-

to gli inizi del sistema bancario che conosciamo oggi.

Ridotto alla sua forma più semplice, il circuito attuale funziona lungo queste linee. Primo, le aziende prendono in prestito da banche private come JPMorgan Chase o HSBC il denaro per pagare i salari dei dipendenti e le altre spese; è in questa fase che si «crea» denaro. Secondo, i consumatori acquistano i beni prodotti dalle aziende o depositano i risparmi nelle banche. Infine, le stesse aziende usano il denaro ricevuto per ripagare le banche e il ciclo si chiude. In questo stadio, il denaro inizialmente prestato viene distrutto, ma gli interessi rimangono nel sistema per sempre. È così che le banche private possono far decollare «da zero» un'economia creando denaro «dal nulla». Questo loro potere è regolato in parte dalle banche centrali, che impongono obblighi sulle quantità di capitale e sulla liquidità che le banche devono avere, in ogni momento, a sostegno dell'attività di prestito.

Alexander Lipton è il fondatore e CEO di StrongHold Labs e Connection Science Fellow al Massachusetts Institute of Technology (MIT). In precedenza ha avuto ruoli di *senior management* in Bank of America, mentre era *visiting professor* all'Università di Oxford e all'Imperial College di Londra. Nel 2000 ha ottenuto il Quant of the Year Award, alla sua prima edizione, della rivista «Risk».

Alex «Sandy» Pentland è professore al MIT, uno degli autori più citati nel campo della *computer science* e membro delle National Academies degli Stati Uniti. Nel 2011 la rivista «Forbes» lo ha inserito fra i sette scienziati più potenti nel campo del trattamento dei dati. Il suo libro più recente è *Fisica sociale* (EGEA Università Bocconi, Milano, 2015).

Problemi di fondo

Magari fosse tutto qui! Purtroppo, il circuito monetario introduce nella società una serie di problemi di fondo. Intanto, produce inevitabilmente un piccolo numero di miliardari che controllano alte concentrazioni della ricchezza totale. Con dannosa frequenza, inoltre, si vede questo tipo di leva finanziaria creare denaro senza sufficiente comprensione (o preoccupazione) dei relativi rischi. Che poi è il modo in cui si producono i *crack* finanziari come quello del 2008: banchieri e politici hanno promosso un'insaziabile domanda di mutui immobiliari, e come risposta è aumentata significativamente la quantità di denaro creata, con una crescita ancora più significativa del rischio.

Può sembrare ovvio imputare questi problemi allo stesso circuito monetario. Ma non è qui la radice della questione. Creare denaro attraverso la leva monetaria funziona bene, finché si riescono a capire e tenere sotto controllo i rischi intrinseci e a reprimere l'eccessiva concentrazione della ricchezza. Oggi, però, un'intricata ragnatela di fattori, fra cui l'esplosivo aumento della popolazione, del commercio mondiale e della potenza dei computer, rende il sistema di gran lunga troppo complicato per poterlo gestire e regolare, e ancora meno capire.

La cosa più preoccupante è che la cornice interpretativa prevalente che usiamo come guida per l'attività macroeconomica è basata su paradigmi superati. I modelli usati tipicamente per governare la creazione di moneta e i tassi di interesse, per esempio, trattano ancora le banche private come semplici intermediari, ignorando il fatto che in realtà sono già di per sé grosse sedi di attiva creazione di moneta. Il fatto che le banche abbiano motivazioni e strategie di redditività proprie inietta opacità nel sistema. Non stupisce che sia stato difficile prevedere l'arrivo della crisi dei mutui del 2008.

L'attuale circuito monetario super-complesso deve essere modellato a un livello di dettaglio mai raggiunto per poterlo capire. Per lungo tempo, i limiti tecnologici hanno reso impossibile questo compito gigantesco. Tuttavia i *big data* e l'emergere di valute e contratti digitali stanno finalmente cambiando questa situazione. Invece di usare le medie storiche per stimare quello che potrebbe accadere in un dato sistema economico, sta finalmente diventando possibile simulare in modo completo tutti i singoli scambi e transazioni e analizzare tutti i potenziali risultati finali. La prospettiva di realizzare una simile impresa sta scuotendo il funzionamento e l'ideologia della finanza globale, e le sue implicazioni potrebbero grandemente migliorare la sicurezza economica, o peggiorarla di molto.

L'ascesa delle valute digitali

Le nuove tecnologie che rendono possibile reinventare il sistema finanziario sono esplose sulla scena pubblica solo nell'ultimo decennio. Tutti hanno sentito nominare i Bitcoin, ma è solo un esempio di un promettente settore di tecnologia finanziaria caratterizzato da grande fermento e speculazione. La cosa importante da sapere è che l'invenzione di base è un «libro mastro distribuito», una banca dati condivisa e gestita da numerosi soggetti. Lo si può pensare come un sistema digitale per tenere la contabilità in comune. Questa è la tecnologia di base che ha reso possibili le criptovalute – monete con cifratura digitale – come il Bitcoin. La sottostante struttura di dati, che costituisce la cosiddetta *blockchain*, è contenuta in una serie di blocchi cifrati in sequenza. Per mantenere quei blocchi affidabili e sicuri, la catena è aggiornata consensualmente da vari meccanismi di verifica (*proving*) che coinvolgono esseri umani e computer.

Concettualmente, blockchain e libri mastri distribuiti non sono nuovi: per esempio, nei passaggi di mano di potere, terre o proprietà si producono naturalmente blockchain. La novità è l'unione dei due

IN BREVE

Il moderno sistema finanziario è diventato pericolosamente complesso. Aumentare la trasparenza ridurrebbe i rischi, ma è un obiettivo che richiede un modello dell'attuale circuito monetario a un livello di dettaglio che supera le capacità della tecnologia attuale.

Nuove tecnologie, come le valute digitali, offrono la possibilità di simulare tutti gli scambi e le transazioni. Con questi strumenti si potrebbero costruire reti finanziarie più efficienti e decentralizzare il controllo della moneta. Gli scambi potrebbero avvenire direttamente tra gli individui invece di basarsi sulle banche.

Il potenziale di cambiamento è grande, ma le incertezze sono molte. Queste reti digitali promuoveranno equità e corretta attribuzione delle responsabilità solo se saranno costruite nel modo giusto e usate responsabilmente. È altrettanto facile, infatti, che conducano a forme estreme di centralizzazione del potere.

concetti in sistemi informatici resistenti alle manipolazioni e applicabili a una vasta gamma di problemi di interesse pratico. Nuove tecnologie per la realizzazione di libri mastri distribuiti rendono possibile creare valute digitali più efficienti del dollaro e ancora più efficienti dei Bitcoin.

Questi strumenti ci daranno forse la possibilità di capire il circuito monetario in sufficiente dettaglio, perché potremmo monitorare e analizzare le transazioni a livello assai più fine. Con questa nuova chiarezza potremmo imparare a riconoscere i segnali premonitori provenienti dai trilioni di transazioni registrate nel libro mastro e agire di conseguenza, aumentando stabilità e sicurezza del sistema. Questo tipo di monitoraggio a libro aperto e in tempo reale dà più sicurezza anche a tutta la comunità. Nel crack del 2008, per esempio, mancava la capacità burocratico-amministrativa per affrontare le singole perdite di decine di milioni di cittadini. Di conseguenza le autorità regolatrici si sono concentrate soprattutto sulla valutazione delle grandi banche, il cui numero è molto più piccolo, lasciando che a soffrire di più fossero le persone comuni.

Questa tecnologia in rapida evoluzione è sfruttata per una gamma crescente di applicazioni, e intanto la confusione abbonda. Dato che ora il Bitcoin è la forma di moneta digitale più nota (qualcuno direbbe famigerata), vale la pena fare un passo indietro per esplorarne origini e debolezze, e in che cosa differisce dalle forme più promettenti che si cerca di ottenere. Il Bitcoin è stato progettato come sistema di pagamento digitale *peer-to-peer* che funziona senza bisogno di un'autorità centrale. Chiunque può aderirvi, il che è insieme una forza e una debolezza. Gli utenti effettuano transazioni finanziarie fra loro, senza intermediari. Queste transazioni sono registrate in un libro mastro su blockchain distribuito pubblicamente, di cui possono (teoricamente) prendere visione tutti i partecipanti. Dopo il lancio, nel 2009, il prezzo del Bitcoin è cresciuto di parecchi ordini di grandezza, e la moneta è diventata la beniamina degli speculatori.

Le promesse del Bitcoin sono grandiose. I suoi proponenti – prevalentemente tecnofili idealisti o *libertarian*, ma c'è anche un elemento criminale – si attendono che diventi una valuta globale che finirà per soppiantare le monete nazionali, a loro avviso facilmente manipolabili. Molti entusiasti credono anzi che il Bitcoin sia la versione digitale dell'oro, dimenticando

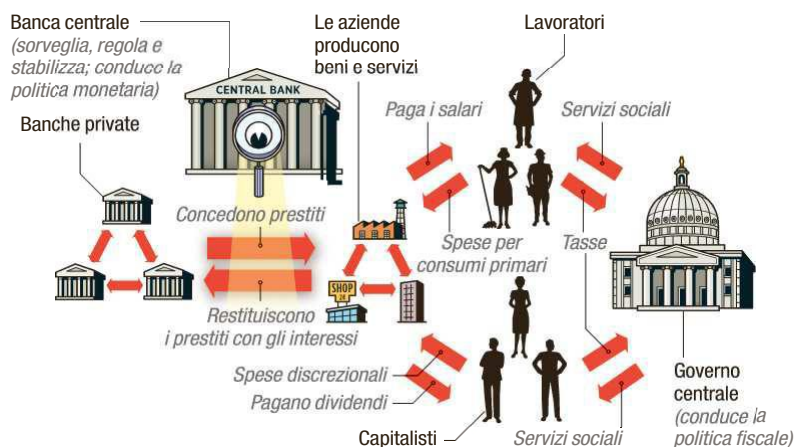
Illustrazioni di Peter e Maria Hoey

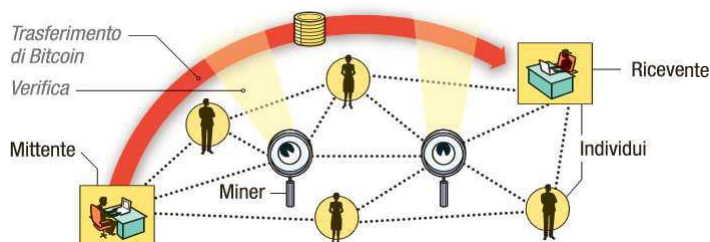
COME FUNZIONANO

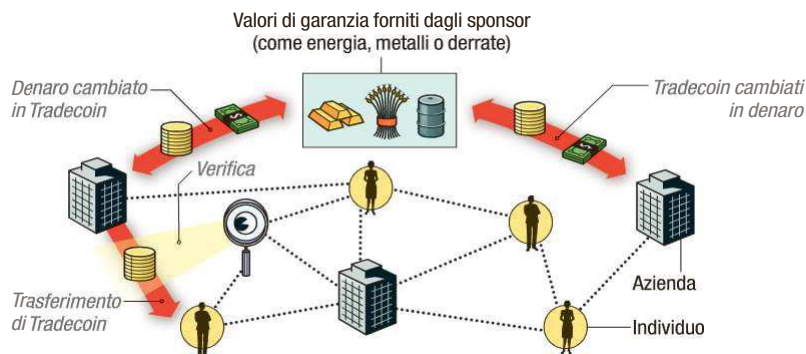
Tre tipi di sistema finanziario

Il moderno circuito monetario è diventato troppo complicato da capire. Le «tecnologie blockchain», come quella di Bitcoin, decentralizzano il sistema e ne diradano la nebbia. In più si stanno sviluppando nuove reti.

Banca con riserva frazionaria (attuale circuito monetario)

Le banche creano denaro «dal nulla» quando concedono prestiti alle aziende. Le aziende pagano salari e dividendi alle persone fisiche, le quali acquistano beni e servizi dalle aziende. Quando i prestiti sono restituiti, il denaro inizialmente creato si distrugge, ma gli interessi restano nel sistema.

Rete peer-to-peer di Bitcoin

Le transazioni si effettuano direttamente tra gli utenti, senza l'aiuto di intermediari predesignati; e sono trasmesse pubblicamente e registrate in una blockchain. Il consenso è mantenuto da validatori casuali. Il Bitcoin non ha un proprio valore, quindi il suo prezzo è intrinsecamente instabile.

Rete peer-to-peer di Tradecoin

Come per il Bitcoin, le transazioni sarebbero effettuate tra gli utenti e sarebbero registrate pubblicamente in una blockchain. Ma il consenso è mantenuto da validatori designati. Il valore del Tradecoin poggia su beni reali forniti dagli sponsor, quindi il suo prezzo è relativamente stabile.

forse che la stabilità dell'oro viene da un lato dalla sua natura fisica e dall'altro dai miliardi di soggetti portatori di interesse (*stakeholder*); e che nel mondo digitale le buone tecnologie sono regolarmente soppiantate da tecnologie migliori.

In realtà il Bitcoin non è la prima valuta digitale e probabilmente non sarà l'ultima di quelle importanti. Inoltre ha seri vincoli logistici. Per esempio, il numero di transazioni che può gestire in un secondo è pari a sette; Visa, per confronto, ne tratta in media 2000. Poi, è un sistema energivoro: il processo di *mining* – in cui i nodi della rete della criptovaluta competono per aggiungere nuove transazioni alla blockchain in modo sicuro – richiede enormi quantità di elettricità. Nei paesi in cui l'elettricità costa cara, i *miner*, gli operatori che svolgono il processo, se non possono pagare le bollette imposte dalla potenza di calcolo necessaria falliscono. Anche se le cifre esatte non sono note, si ritiene che i consumi elettrici di Bitcoin siano pari a quelli di eBay, Facebook e Google messi insieme. Ancora, il sistema è stato impostato distribuendo l'autorità fra tanti miner, che poi però si sono riuniti in grandi associazioni; oggi un numero ridotto di gruppi è diventato abbastanza forte da controllare il sistema Bitcoin. Altro che peer-to-peer...

MONETE IN PILLOLE

Breve storia dei soldi

VII secolo a.C.: Lidi e Greci coniano le prime monete standardizzate.
XIV secolo d.C.: banche di mercanti come i Medici travalicano i confini di Stato, operando nella finanza, nei commerci e nella manifattura.
XVII secolo: prestando il valore della moneta depositata, i banchieri aumentano la produttività dell'economia creando tuttavia nuove fonti di rischio che regolarmente portano a crolli locali e a depressioni anche su vasta scala. Emergono le banche centrali, collegando l'attività bancaria alla tassazione.
XVIII secolo: nasce lo standard aureo, partendo da precedenti casi in cui la moneta circolante era vagamente garantita da una riserva di metalli preziosi. Questo passaggio riduce il rischio.
XX secolo: lo standard aureo è sostituito dagli Accordi di Basilea, secondo i quali possedere valori facilmente liquidabili equivale, ai fini della riserva, a possedere oro.

Luci e ombre

Anche l'utilità del Bitcoin ha i suoi limiti. Il termine «denaro» si può definire in base ai suoi tre tipi di usi: transazioni, deposito di valore e unità di conto. Dato che la quotazione del Bitcoin nei confronti del dollaro (e delle altre valute a corso legale) è assai instabile, è difficile usarlo nella vita quotidiana. Bitcoin ed Ethereum non hanno alle spalle beni reali e neppure, quantomeno, le promesse di un governo: di conseguenza sono valute puramente speculative. In termini colloquiali, quindi, non è denaro «vero»: quello che non ha un valore può avere qualsiasi prezzo. Alcuni entusiasti mettono l'assenza di valore del Bitcoin fra i suoi pregi, e sostengono che in futuro tutte le valute saranno di questo tipo; ma è uno scenario altamente improbabile, per ragioni sia tecniche sia politiche.

Ma in qualità di prima valuta digitale decentrata di successo, Bitcoin è un passo in avanti impressionante. La tecnologia che ne è alla base e la sua filosofia di sistema peer-to-peer non regolato sono innovativi, e Bitcoin offre soluzioni pratiche a grandi problemi. Ovviamente è solo una delle possibili applicazioni del concetto di libro mastro distribuito basato su blockchain. Che dopotutto è una tecnologia, non una particolare ideologia: non dovrebbe essere confusa con la filosofia che guida Bitcoin o con le motivazioni di una qualsiasi delle sue applicazioni, attuali o future. Ha le potenzialità per risolvere alcun difetti del sistema finanziario attuale, però può anche essere usata per rafforzarli. E basta pensare che un aspetto chiave del potere è il controllo del denaro – di quello già esistente e di quello da creare in futuro – per cominciare a farsi un'idea del vaso di Pandora di rischi morali che ha aperto questa tecnologia.

Prendiamo le banche centrali delle più importanti valute di riserva come la Federal Reserve degli Stati Uniti o la Banca d'Inghilterra. La fiducia è spesso associata con le dimensioni: più una banca è grande, più ci si può fidare. Questi attori però hanno più volte dimostrato che questo modo di pensare è un grosso errore. Più e più volte hanno scelto di impoverire «i piccoli», diluendo i propri obblighi finanziari con l'inflazione, tenendo bassi i tassi di interesse e con altre politiche. Di recente stanno provando tassi di interesse negativi e stanno studiando come togliere di mezzo il contante.

Alcune banche centrali, e questo è ancora più allarmante, stanno discutendo della possibilità di rendere la propria moneta *interamente* digitale e registrare gli acquisti direttamente su un libro mastro. Con questo si potrebbe aggirare il contributo delle banche private, dando agli Stati il controllo assoluto dell'economia. Ciò vorrebbe anche dire che lo Stato avrebbe una registrazione di tutti i nostri acquisti, compresi quelli che oggi facciamo in contanti proprio per evitare che lascino tracce. Questo sembra sempre più un sistema possibile, e paesi come Cina, Regno Unito, Singapore e Svezia hanno annunciato programmi per studiare, e potenzialmente applicare, strategie del genere. L'insegnamento essenziale da trarne è che anche una tecnologia progettata come decentrata può essere usata per creare sistemi a controllo centralizzato.

Verso un sistema più stabile

È chiaro che l'invenzione di blockchain e libri mastri distribuiti non abolirà problemi come crack finanziari e inflazione eccessiva, almeno non a breve termine. Tuttavia rende possibile la creazione di alternative legittime agli attori più grandi e potenti. La tecnologia rende ora possibile realizzare sistemi di valuta globali e specializzati, che in precedenza non avrebbero avuto le dimensioni, la fiducia o la stabilità politica per essere competitivi. Quindi per i piccoli – come possono essere le economie emergenti, o vasti gruppi di singoli cittadini – unirsi per creare alternative alle banche centrali può essere un passo naturale.

Con in mente questa possibilità, il nostro laboratorio al Massachusetts Institute of Technology lavora alla creazione di una valuta digitale adatta per transazioni su larga scala. Chiamata Tradecoin, sarà registrata indelebilmente su una blockchain e ancorata in ogni momento a un paniere di beni reali come derrate, energia o minerali. Questo ne stabilizzerà il valore e renderà più facile ottenere la fiducia del pubblica. L'idea di fondo è che una valuta, per essere di utilità generale, ha bisogno di fiducia da parte degli esseri umani e di sistemi di scambio efficienti.

Una Tradecoin digitale basata su un libro mastro distribuito potrebbe permettere ad alleanze di piccoli paesi, aziende, ope-

ratori commerciali, cooperative di credito o magari di agricoltori di mettere insieme beni sufficienti a sostenere una grande valuta, altamente liquida e capace di ispirare fiducia quanto le valute nazionali usate dalla Banca Mondiale e dal Fondo monetario internazionale. Questo darebbe ai membri dell'alleanza Tradecoin un certo grado di protezione dalle politiche egoistiche dei pesi massimi. La struttura crittografica renderebbe assai più facile, sicura ed economica la loro partecipazione al commercio internazionale. Se i membri dell'alleanza sono ben diversificati per capacità di influenza politica e posizione geografica, potrebbero essere più immuni da rischi di default rispetto all'essere sostenuti da un'unica grossa entità. In effetti, è proprio così che nel 1694 nacque la Banca di Inghilterra: come alleanza di mercanti.

Volutamente i principi sottostanti a valute come Tradecoin sono diversi da quelli di criptovalute come Bitcoin o Ether, che non sono sostenute da beni reali e non prevedono alcuna alleanza. Tradecoin può inoltre evitare il processo di mining e la sua forte intensità energetica con l'uso di una rete preventivamente approvata e ben diversificata di «nodi di convalida» da considerare affidabili. I partecipanti possono definire un insieme di nodi di convalida abbastanza diversificato da impedire che qualcuno possa corromperne contemporaneamente il 51 per cento. Il risultato è uno strumento finanziario veloce, facile da ampliare, affidabile e a basso impatto ambientale; combina le tecnologie più recenti con l'antichissima idea del valore intrinseco della moneta d'oro, che è alla base della fiducia necessaria affinché sia usata anche lontano dal suo luogo di origine.

Valute come Tradecoin possono essere anche più sicure di quelle attuali perché possono essere progettate in modo da rendere visibili, e quindi passibili di supervisione, i dettagli del circuito monetario. La supervisione degli attori umani interessati continua a essere necessaria: il sistema Internet ha l'ICANN e il sistema bancario degli Stati Uniti è regolato da un organo come il Consiglio direttivo della Federal Reserve. Ma i nuovi sistemi permettono di tenere i conti in modo distribuito: ciò significa che possiamo costruire modelli dei rischi e prevedere gli stessi rischi in modo più affidabile. Al momento questo genere di trasparenza è impossibile, perché i dettagli delle transazioni finanziarie sono riservati. Ma se nel 2008 fosse stato in funzione un sistema del genere avrebbe potuto monitorare l'estrema concentrazione di alcuni operatori su strumenti derivati sostenuti da mutui immobiliari e «simulare» in dettaglio le conseguenze di un cambiamento dei valori immobiliari. Invece di cattivi mutui nascosti in pacchetti ben confezionati, avrebbero potuto esserci un bel po' di spie d'allarme accese.

Il nostro laboratorio sta raccogliendo le sfide della trasparenza. Per esempio stiamo costruendo sistemi *software* che costituiscano una «rete fiduciaria» per paesi dell'Unione Europea e grandi istituti finanziari degli Stati Uniti, i quali useranno questi sistemi come programmi pilota, che permetteranno di registrare e «riascoltare» transazioni e contratti tra le diverse parti senza rischi per la riservatezza dei dati né violazioni della privacy. Lo stesso software è il nucleo del sistema Tradecoin. Stiamo studiando come portare alla fase pilota due valute Tradecoin: una pensata per il commercio internazionale e sostenuta da un'alleanza di piccoli paesi e l'altra, sostenuta da agricoltori, da usare sul mercato delle commodity. Al momento, stiamo reclutando i partecipanti alle alleanze per testare l'idea.

Più equità nel mondo

La cosa entusiasmante è che per la prima volta nella storia c'è la possibilità di avere valute digitali mondiali che siano in larga misura immuni dalle politiche egoistiche delle ricche banche centrali che controllano gran parte del denaro. In effetti è probabile che emergano numerose nuove alternative e alla fine qualcuna di esse giunga a competere con le massime valute di riserva. La possibilità di creare sistemi monetari effettivamente comprensibili significa che forse potremo costruire strumenti per minimizzare i rischi, evitare i crolli e salvaguardare la libertà degli individui da intrusioni dei governi e strapotere delle grandi aziende. E dato che saranno sostenute da (e convertibili in) beni tradizionali, queste valute avranno un effettivo valore di base. Questo vuol dire minore probabilità che siano prese di mira da attacchi speculativi e forte resistenza sia alle manipolazioni politiche sia alle spinte inflattive dovute a problemi di singoli paesi.

Nel complesso, le criptovalute di nuova generazione come Tradecoin potrebbero agevolare enormemente il commercio globale, anche nel caos dell'attuale clima politico ed economico. Come risultato, le valute più importanti come il dollaro potrebbero finire per diventare meno dominanti, o magari il sistema finanziario degli Stati Uniti inizierà a comportarsi meglio. La speranza è che questi sistemi distribuiti, sostenuti da vaste alleanze di attori diversificati, possano portare nel mondo più trasparenza, più equità e più responsabilità da parte dei soggetti incaricati di prendere decisioni. ■

PER APPROFONDIRE

The Macroeconomics of Central Bank Issued Digital Currencies. Barrdear J. e Kumhof M., Staff Working Paper n. 605, Bank of England, luglio 2016.

Modern Monetary Circuit Theory, Stability of Interconnected Banking Network, and Balance Sheet Optimization for Individual Banks. Lipton A., in «International Journal of Theoretical and Applied Finance», Vol. 19, n. 6, articolo 1650034, settembre 2016.

Trust::Data: A New Framework for Identity and Data Sharing. Hardjono T., Shrier D. e Pentland A. (*a cura*), Visionary Future, 2016.

IL FUTURO DEL DENARO

Il mondo creato dal Bitcoin

La prima grande valuta digitale offre uno sguardo su un nuovo ordine economico, in cui però le domande sono più delle risposte

di John Pavlus

John Pavlus, scrittore e cineasta, si occupa soprattutto di scienza, tecnologia e design. Suoi contributi sono apparsi in «Bloomberg Businessweek», «MIT Technology Review» e nella serie *The Best American Science and Nature Writing*.

Bitcoin, criptovalute, contratti *smart*. Molti hanno sentito parlare dei rapidi cambiamenti in corso nella tecnologia finanziaria, ma pochi li capiscono davvero. Centinaia di banche centrali e grandi aziende lavorano a una tecnologia, detta *blockchain*, che potrebbe cambiare le regole del gioco e su cui gli investitori scommettono miliardi. Eppure solo il 24 per cento dei professionisti di servizi finanziari globali che hanno partecipato a un sondaggio di PricewaterhouseCoopers (PwC) nel 2017 la trova «estremamente» o «molto» familiare. Gran parte del pubblico, poi, si chiede se tutto questo sia legale, ammesso che ci capisca qualcosa. I suoi sostenitori dicono che ha il potere di rivoltare interi sistemi economici; altri, come Emin Gün Sirer, ricercatore del settore alla Cornell University, avverte che mentre il nucleo tecnico è «affascinante e dirompente, girano anche molte fesserie». Come ci si orienta, o almeno ci si fa un'idea su che cosa sia una blockchain?

Tutto comincia con Satoshi Nakamoto, il più riservato dei miliardari barricati dietro uno pseudonimo. A ottobre 2008 ha pubblicato su Internet un lavoro in cui era esposto il progetto della prima blockchain del mondo. Una banca dati pubblica, distribuita e sincronizzata ogni dieci minuti su migliaia di computer, accessibile a tutti ma non violabile da nessuno. Per fare che cosa? Per registrare in modo decentrato, ma a prova di bomba, gli scambi di una nuova valuta digitale che Nakamoto ha chiamato Bitcoin.

Fino a quel momento il guaio del «denaro elettronico *peer-to-peer*» era l'assenza di modo affidabile con cui impedire a qualcuno di spendere due volte gli stessi soldi. La tecnologia blockchain ha risolto il problema, annotando ciascun trasferimento di Bitcoin in un «libro mastro distribuito», una sorta di foglio di calcolo digitale che, grazie alle leggi della matematica e della crittografia, è più inviolabile che se fosse scolpito nella pietra. Come ha scritto «The Economist», una «macchina della fiducia».

La tecnologia del Bitcoin è subito cresciuta ben oltre questa moneta digitale, alimentando un periodo di innovazione. Una blockchain è come un'impalcatura che può contenere ogni dato di cui debba essere garantita la provenienza: storie finanziarie, documenti di proprietà, prove di identità. Questo «libro mastro del mondo», come lo chiama Don Tapscott, coautore del libro *Blockchain Revolution*, è ancora una cornice vuota. Ma la tecnologia, imperfetta com'è, può essere sfruttata anche per scopi malvagi, e c'è chi cerca di tirare il freno. Qui troverete una guida al paesaggio digitale ereditato da Satoshi Nakamoto.

Concetti di base

CRIPTOVALUTA Forma di valuta digitale che si basa sulla matematica della crittografia per controllare come e quando sono create le unità della moneta e assicurare il trasferimento sicuro di fondi.

RETE PEER-TO-PEER (P2P) Rete di computer collegati in modo decentrato, così ognuno comunica direttamente con ciascuno degli altri senza passare per un server centrale o un altro amministratore. A popolarizzare il concetto è stato Napster, una rete per la condivisione di file musicali nata sul finire degli anni novanta.

NODO Computer connesso a una rete P2P. La rete di Bitcoin ha migliaia di nodi in tutto il mondo.

LIBRO MASTRO DISTRIBUITO Elenco di transazioni registrate con marcatura temporale che è diffuso simultaneamente, copiato e verificato consensualmente da tanti computer in una rete P2P. Se ogni nodo della rete ha una copia identica del libro mastro, è facile individuare le voci falsificate e le versioni corrotte.

BLOCCO Raggruppamento di registrazioni di singole transazioni in una blockchain. Nella rete dei Bitcoin, alla catena sono aggiunti nuovi blocchi ogni dieci minuti.

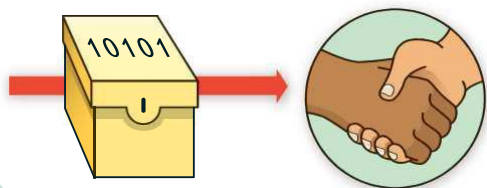
HASHING Tecnica crittografica in cui una funzione matematica condensa una quantità qualsiasi di dati in una stringa unica di caratteri alfanumerici di lunghezza fissa, detta «valore di *hash*». Ciò genera un'impronta digitale facilmente verificabile dei dati sottoposti ad hashing. Se cambia o si corrompe anche un solo bit dei dati originali, l'impronta che emerge dalla funzione di hash è assai diversa, rendendo facile rilevare errori e manomissioni. Le funzioni di hash inoltre sono unidirezionali: è impossibile ricostruire oppure estrarre i dati originali partendo dall'impronta.

MINING Processo con cui i nodi della rete di una criptovaluta competono per aggiungere in modo sicuro nuovi blocchi di transazioni a una blockchain. La ricompensa è data da unità della moneta, dunque c'è un incentivo finanziario a garantire la sicurezza. L'attività di mining include il download dell'ultima versione delle transazioni nella blockchain e la sua verifica, per poi cercare in modo casuale, con calcoli «a forza bruta», la soluzione di un problema matematico creato con la procedura di hashing. Il primo nodo che trova la soluzione «sfrutta» quel certo blocco, aggiungendolo alla blockchain e ottenendo la relativa ricompensa. Gli esseri umani controllano i nodi, la competizione però non è questione di abilità, ma di potenza di calcolo; più grande è la potenza usata dal gestore di un nodo (*miner*) per cercare la soluzione, più alte saranno le sue probabilità di trovarla.

Illustrazioni di Peter e Maria Hoey

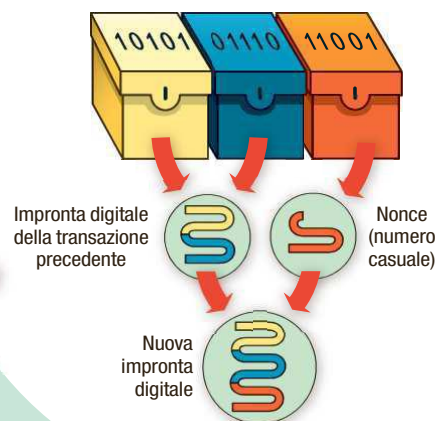
La matematica di Bitcoin

Come fa la moneta digitale – o qualsiasi altro dato – a passare di mano in mano in una rete decentrata piena di estranei che non hanno motivo di fidarsi gli uni degli altri? Generando un libro mastro permanente delle transazioni, che nessun membro della rete è in grado di modificare da solo.

Una transazione su blockchain comincia con un accordo in cui una parte invia dati a un'altra. I dati possono riguardare qualunque cosa, ma visto che il senso della blockchain è generare una registrazione permanente e verificabile dello scambio, in genere rappresentano beni di valore, come possono essere unità di criptovaluta o altri strumenti finanziari, contratti, atti o certificati di proprietà, informazioni mediche o altri dati di identità.

2

La transazione è trasmessa per la verifica alla rete peer-to-peer di computer su cui gira la blockchain. Ognuno dei nodi della rete è dotato di una procedura per verificare se la transazione è valida oppure no. (In una transazione in Bitcoin, per esempio, la rete verifica se chi effettua il pagamento dispone effettivamente della somma in Bitcoin che afferma di possedere.) Quando la rete ha raggiunto un consenso, gli algoritmi uniscono la transazione verificata ad altre transazioni recenti, impacchettandole in un blocco.

Il software genera l'impronta digitale del nuovo blocco, con l'hashing dei relativi dati e unendovi altre due informazioni: l'impronta digitale del blocco che lo precede e un numero casuale, detto *nonce*.

4

Alcuni nodi speciali, detti miner, cominciano a competere tra loro per il diritto di aggiungere il nuovo blocco alla blockchain. I relativi computer eseguono una lunga serie di calcoli ripetitivi basati sulla sequenza di hash, più e più volte, procedendo per prove ed errori, alla ricerca di una soluzione che soddisfi una certa regola arbitraria definita dalla rete. (Nella blockchain di Bitcoin si cercano soluzioni, o valori di hash, che cominciano con un determinato numero di zeri.) Il primo nodo che completa questo processo trovando la soluzione corrispondente alla regola può «sfruttare» quel blocco, ottenendo una ricompensa finanziaria.

5

Il blocco convalidato è aggiunto alla blockchain con un'impronta digitale in cui sono codificate matematicamente anche le impronte digitali convalidate di tutti i blocchi che lo precedono. Queste impronte digitali annidate l'una nell'altra rendono la blockchain sempre più sicura a ogni nuovo blocco aggiunto, perché alterando anche un solo bit di informazione in qualsiasi punto della catena si altererebbe non solo l'impronta digitale di quel particolare blocco ma anche tutte quelle dei successivi.

BLOCKCHAIN SENZA MISTERI

Domande frequenti su un argomento in rapida espansione

1. Bitcoin e blockchain sono la stessa cosa?

No, però è facile confonderli perché entrambi hanno ottenuto l'attenzione del pubblico nel 2008, quando Satoshi Nakamoto ha pubblicato un lavoro in cui descriveva come realizzarli simultaneamente. Il Bitcoin è un tipo di criptovaluta. La blockchain è la tecnologia che rende possibile il Bitcoin, ovvero è un'infrastruttura che può essere usata per tracciare molti tipi di transazioni. La tecnologia blockchain esiste anche senza Bitcoin, ma non è vero il contrario. Il Bitcoin può essere considerato come un tipo di applicazione che «gira» su blockchain, come un sito web gira su Internet.

2. Da dove viene il valore di una criptovaluta?

Alcuni esperti affermano che il valore dei Bitcoin è dovuto alla sicurezza del sistema (nessun hacker è mai riuscito a violare la blockchain di Bitcoin, finora) o dalla loro «scarsità» imposta per via matematica (c'è una quantità fissa di 21 milioni di Bitcoin, che quindi non possono essere svalutati «stampando più moneta»). Altri affermano che hanno un valore intrinseco perché il processo di mining è un lavoro tedioso che rafforza la rete: in altre parole, lo sforzo ha un valore. Che dire allora delle criptovalute che fanno a meno del mining? Secondo Christian Catalini, del Massachusetts Institute of Technology (MIT), «il valore nasce dal consenso. Siamo tutti d'accordo che ha valore». In questo senso si può dire che le criptovalute somigliano più ai social network che alle banche centrali. «Il denaro è un modo per la società di tenere traccia di pesi e contrappesi», dice Catalini. «Se le criptovalute si dimostrano un modo più valido per tenere traccia delle informazioni», il loro valore è assicurato, che rappresentino beni fisici oppure semplici numeri.

3. La blockchain è un nuovo tipo di Internet?

Non proprio, perché una blockchain ha bisogno di Internet per sostenere e mantenere la sua rete peer-to-peer. È poi importante notare che quando si parla «della» blockchain in modo informale ci si riferisce quasi sempre allo specifico sistema implementato da Nakamoto a supporto dei Bitcoin. La blockchain dei Bitcoin è stata il primo sistema a libro mastro distribuito che non richiedeva un'organizzazione o un server centrale per funzionare. Ed è ancora una delle più grandi: a novembre 2017 conteneva oltre 130 gigabyte (140 miliardi di byte) di informazioni, e le sue dimensioni crescono a ogni nuova transazione. È comunque di molti ordini di grandezza più piccola della quantità di dati che ci sono su Internet, che secondo le stime è dell'ordine degli yottabyte (10^{24}, cioè milioni di miliardi di miliardi, di byte).

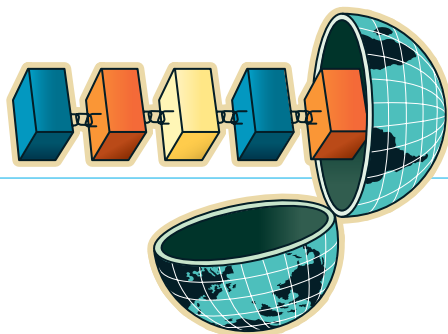
4. Ma almeno le blockchain sono legali?

Sì, ma la loro natura decentrata e l'associazione con Bitcoin – sistema che è stato usato per operazioni illegali come traffico di droga e armi – può dare alle blockchain una reputazione di «fuorilegge» che non è detto sia meritata. Si può usare una blockchain per molti scopi diversi, buoni e cattivi, proprio come avviene per Facebook, posta elettronica e ogni altra tecnologia su Internet.

5. Come mai le criptovalute sono sicure e affidabili?

Dato che in ultima analisi non sono che software, l'affidabilità di ogni criptovaluta «proviene dal codice su cui si basa», dice Catalini, ricercatore del MIT. Chiunque può creare una moneta criptata e raccogliere fondi proponendone un'offerta d'acquisto iniziale, lo ha fatto anche Paris Hilton quando ha prestato il suo nome per la promozione di un'oscura valuta. Ma non è un caso che le due criptovalute più diffuse, Bitcoin ed Ether, siano state realizzare da grandi esperti di programmazione informatica. Detto questo, anche monete con notevoli credenziali tecniche possono essere rischiose. La DAO – «un'organizzaione autonoma decentralizzata» che girava su Ethereum, e che ha raccolto oltre 100 milioni di dollari nel 2016 – «aveva un bug» (dice, minimizzando, Catalini) che ha permesso agli hacker di impadronirsi di 50 milioni di dollari in valuta Ether.

10%

Percentuale del prodotto interno lordo mondiale che sarà immagazzinata con tecnologie basate su blockchain entro il 2025, secondo un rapporto del World Economic Forum.

OGGI CHI USA LA TECNOLOGIA BLOCKCHAIN?

Non è solo roba da anarco-capitalisti cibernetici, e va ben oltre la finanza. Ecco un elenco parziale.

- **ISTITUZIONI FINANZIARIE:** Banche e istituti d'investimento globali stanno studiando e puntando a progetti di blockchain, a volte unendo le forze in consorzi. Dal 2012 prospera Ripple, un sistema di saldo delle transazioni internazionali fra banche. Aziende start-up come Bloom intendono usare la tecnologia per la storia creditizia, con la speranza di porre fine alle falle nella sicurezza dei dati esemplificate dal caso Equifax.
- **ISTITUZIONI GOVERNATIVE:** Negli Stati Uniti, Delaware e Illinois usano libri mastri distribuiti per i certificati di nascita, il Vermont permette l'uso di blockchain per la verifiche dell'autenticità dei documenti legali. Dubai integra blockchain in molti servizi amministrativi. Nel 2016 la Tunisia ha emesso una versione supportata da blockchain della sua valuta nazionale digitale, detta e-Dinar.
- **IMPRENDITORI HI-TECH:** La rete Ethereum – concepita per sostenere nuove applicazioni invece che esclusivamente ecosistemi digitali di una moneta virtuale come Bitcoin – è una specie di App Store per start-up basate su blockchain: oggi è usata da centinaia di progetti e imprese. Un esempio notevole è WePower, che punta a consentire acquisto e vendita diretta tra privati di energia da fonti rinnovabili (per esempio, da pannelli solari installati sui tetti).
- **DETENTORI DI COPYRIGHT E PROPRIETÀ INTELLETTUALE:** Imogen Heap, musicista inglese, ha creato Mycelia, un incubatore tecnologico che traccia i metadati associati con opere creative, tagliando fuori intermediari come iTunes.
- **GRUPPI UMANITARI E NO PROFIT:** BitGive Foundation sta aumentando la trasparenza delle donazioni filantropiche. E il Programma alimentare mondiale delle Nazioni Unite snellisce le procedure per seguire e consegnare gli aiuti ai profughi siriani in Giordania.
- **ISTITUZIONI ACCADEMICHE:** Basta con le pergamene! Il progetto Blockcerts vuole rendere più affidabili e condivisibili tutti i tipi di credenziali accademiche e professionali.
- **GESTORI DI VALORI:** La londinese Everledger punta al settore dei diamanti, registrando caratteristiche e provenienza di ciascuna pietra. E c'è chi segue anche vini d'annata e opere d'arte.
- **GIORNALISTI:** Per reagire alle fake news, Civil propone ai giornalisti una piattaforma per un giornalismo inalterabile, senza pubblicità, libero da interessi estranei e sostenuto dai lettori.
- **PERSONE COMUNI:** Per i migranti che inviano denaro a casa, usare i Bitcoin costa meno che servirsi di Western Union, motivo per cui secondo alcune stime il 20 per cento delle rimesse dalla Corea del Sud alle Filippine si basano su questa criptovaluta.

PERCHÉ USARE UNA CRIPTOVALUTA INVECE DI UNA MONETA NAZIONALE?

Immaginate di avere 100 dollari, con cui però potete comprare solo 50 dollari di beni. Per i venezuelani la realtà è questa. «L'iperinflazione brucia la metà del reddito netto delle persone ogni anno», dice Morris. «La gente pensa: "Come faccio a fermarla"? E compra Bitcoin». Perché una criptovaluta difficile da capire e senza uno Stato che ne garantisca il corso legale sembra una scommessa migliore rispetto a un tradizionale bene-rifugio come l'oro? Convertire bolivar in Bitcoin è più semplice per la gente comune, basta un accesso a Internet. Poi, dato che i Bitcoin non hanno una forma fisica, non c'è bisogno di nasconderli in un posto non sicuro come un materasso o, in Venezuela, una banca. Certo, neppure il Bitcoin ha un valore stabile; ma mentre il bolivar è sceso in picchiata, il valore del Bitcoin tende sempre al rialzo. In un paese dove l'inflazione attesa per il 2018 è superiore al 2300 per cento (secondo il Fondo monetario internazionale), come rischio sembra ragionevole. Lo Zimbabwe ha il problema opposto. Dopo aver abbandonato la moneta nazionale per il dollaro, l'economia del paese funziona grazie all'importazione di valuta, che scarseggia. I Bitcoin sono oggi così diffusi da essere accettati anche dai venditori di auto.

77%

Percentuale del settore dei servizi finanziari globali che adotterà blockchain nell'ambito del sistema di produzione oppure di processo entro il 2020, secondo PwC.

INSOMMA, BITCOIN È IL FUTURO OPPURE SOLO UNA METEORA?

Bitcoin è la valuta digitale più popolare del mondo. Ma allo stesso tempo è assai speculativa, e molti consulenti finanziari ne fanno notare la leggendaria volatilità: il suo valore è cresciuto di oltre 10 volte dal 2016, ma è precipitato del 40 per cento nel giro di due settimane a settembre 2017 per poi recuperare (e aumentare ancora) altrettanto velocemente. (E chissà dove sarà quando leggerete queste righe.) Per altri, i limiti tecnici della rete, troppo lenta nella gestione delle transazioni, e gli insostenibili costi del mining ne fanno una bomba a orologeria. «Non scommettiamo sul Bitcoin», dice Charlie Morris, responsabile degli investimenti di NextBockGlobal, azienda che punta sulla tecnologia blockchain.
Bitcoin ha legittimato le basi economiche di una criptovaluta globale. Ma la successiva valuta alternativa, in ordine di diffusione, potrebbe durare di più. Più che una valuta da usare come denaro, Ether è un «bene della blockchain», come dice Morris, usato per far funzionare e rendere sicura la rete Ethereum. Gli sviluppatori che vogliono creare applicazioni con la blockchain di Ethereum devono pagare l'accesso, ma in Ether. Più Ethereum diventerà utile come piattaforma, più saranno alti stabilità e valore degli Ether. È probabile che emergano nuove valute e piattaforme: la corsa è appena iniziata.

È IN VISTA LA FINE DEL CONTANTE?

Si potrebbe pensare che il denaro di carta debba seguire lo stesso destino dei quotidiani. Ma gli esperti dicono che il contante non è affatto morto. «Continuiamo a usare grandi pile di carta per pagare servizi come le spedizioni marittime internazionali dei container», dice Vinay Gupta, CEO di Mattereum, impresa di assistenza legale per contratti smart. «Il sistema non funziona così male da spingere le persone a farlo a pezzi.» Il problema di Bitcoin ed Ether è che possono funzionare per immagazzinare valore o come unità di scambio, ma non hanno corso legale in abbastanza posti da competere con il contante. Paesi come il Kenya, dove pochi hanno conti in banca, e servizi come M-Pesa, che hanno reso il risparmio e l'invio di denaro via telefono assai più semplice dello scambio di contanti fisici, possono sembrare naturalmente adatti alle criptovalute. Ma il mining richiede comunque molta potenza di calcolo, una risorsa non certo comune in Africa, dove le vendite dei telefonini più economici superano quelle degli smartphone, e dove non sono tante le persone che hanno un computer. In teoria, i calcoli necessari per la sicurezza delle transazioni su blockchain potrebbero essere eseguiti «su una vecchia carta SIM Nokia», dice Gupta. In ogni caso la vecchia e tangibile carta moneta non sparirà tanto presto.

3 4 5

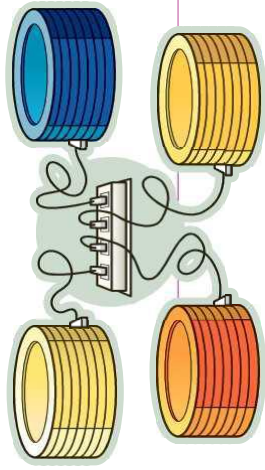
3

La blockchain è un nuovo tipo di Internet?

4

Ma almeno le blockchain sono legali?

5

Come mai le criptovalute sono sicure e affidabili?

SE LE CRIPTOVALUTE SONO DIGITALI, DA QUALE ENERGIA SONO ALIMENTATE?

Solo perché le criptovalute non hanno attributi fisici non significa che usarle non abbia un costo. Il processo volutamente laborioso con cui sono «estratti» nuovi Bitcoin – cioè come le nuove transazioni sono aggiunte al libro mastro – richiede che l'intera rete P2P passi attraverso un numero sbalorditivo di cicli di calcoli casuali per convalidare le transazioni della blockchain. Tutte elaborazioni che richiedono energia.

Quanta energia? Partiamo dalla quantità dei calcoli. A fine 2017 il cosiddetto «tasso di hash» della rete Bitcoin era intorno ai 10 exahash – 10 miliardi di miliardi di calcoli – al secondo. Derivare da questo valore una stima energetica precisa è impossibile perché la rete, essendo decentrata, non può dar conto dei singoli nodi. Ma stime credibili pongono il consumo annuale di elettricità della rete Bitcoin intorno ai 27 terawattora (TWh), più o meno equivalente ai consumi dell'Irlanda. Per dare un'idea, un anno di Bitcoin richiede l'equivalente della combustione di circa 11 milioni di tonnellate di carbone, che immette in atmosfera quasi 29 milioni di tonnellate di anidride carbonica. Per alimentare Bitcoin a energia solare, bisognerebbe dedicarvi più della metà della capacità solare annua installata dalle aziende elettriche degli Stati Uniti.

Il creatore di Ethereum, Vitalik Buterin, sta facendo passare la blockchain della sua rete a un meccanismo di convalida diverso, detto *proof-of-stake*, che non si basa sul mining. È improbabile che la rete Bitcoin, più vasta e più decentrata, effettui a breve un passaggio analogo. Ma Vinay Gupta, che ha progettato la strategia blockchain di Dubai, ritiene che la stessa avidità che motiva i miner a convertire chilowatt in criptosoldi li spingerà a venir fuori da questo problema di scala a forza di innovazioni. Morris, di NextBockGlobal, pensa che via via che le criptovalute basate su proof-of-stake dimostreranno di essere valide «il mining diventerà un incidente storico», dice. «Le persone diranno: "Ti ricordi quando facevamo queste cose, roba da ridere, eh?"»

IN PRATICA DOVE AVVIENE IL MINING?

71%

dei Bitcoin è «estratto» in Cina; subito dopo viene l'India, con il 4 per cento. Un consiglio: non provate a fare i «minatori» da soli, a casa vostra.

A dominare questa fase sono giganteschi «gruppi minerari», come quelli che si trovano in Cina, e la probabilità che un operatore solitario riesca a minare un blocco oggi è più o meno una su 8 milioni; la bolletta elettrica supererebbe di molto i guadagni. Chi vuole farlo per hobby può aderire a un gruppo minerario pubblico.

CHE COSA PENSANO LE PERSONE DELLE BLOCKCHAIN?

62% degli statunitensi ritiene che le criptovalute siano usate per scopi illegali o non ha idea dei fini per cui sono usate, secondo un sondaggio di YouGov del 2017.

59% dei consumatori globali in un sondaggio HSBC del 2017 ha detto di non aver mai sentito parlare della tecnologia blockchain; l'80 per cento di chi ne aveva sentito parlare comunque non capiva che cosa fosse.

39% degli alti dirigenti di grandi aziende negli Stati Uniti ha detto di avere poca o nessuna conoscenza della tecnologia blockchain, secondo un sondaggio Deloitte del 2017.

COME SARÀ USATA QUESTA TECNOLOGIA IN FUTURO?

Chiunque oggi lavori sulla blockchain ha per definizione lo sguardo rivolto al futuro. Quando la tecnologia dei libri mastri distribuiti uscirà dalla sua fase iniziale che cosa potremo farci?

- **AUTOMOBILI CHE SI GUIDANO DA SOLE E SENZA PADRONE:** Invece di guidare per Uber, l'auto si guida da sola, mentre tu lavori o dormi. Contratti smart basati su blockchain possono eliminare intermediari come Uber e Lyft dal car sharing automatizzandone le due funzioni di base: accoppiare auto e passeggeri e facilitare i pagamenti. E si potrebbero anche possedere «quote» di un'auto in unità di criptovaluta.
- **PORTABILITÀ DEI DATI MEDICI:** La stessa tecnologia che permette a due persone di scambiare Bitcoin senza necessariamente fidarsi l'una dell'altra potrebbe anche garantire le informazioni mediche, mettendo il controllo nelle mani del paziente, dice Brian Behlendorf, direttore generale del progetto Hyperledger della Fondazione Linux, una «cassetta degli attrezzi» per la costruzione di applicazioni blockchain. Ai pazienti verrebbe dato un «portafoglio sanitario» contenente i loro dati e le loro storie cliniche. Un medico potrebbe chiedere al relativo libro mastro il gruppo sanguigno di un paziente, per esempio, e il paziente riceverebbe una richiesta di accesso sul suo telefono. «Si arriverebbe alla registrazione autenticata di tutti quelli con cui condividiamo i nostri dati, con l'opzione di cancellarli alla fine del trattamento», dice Behlendorf.
- **UN SUPERCOMPUTER GLOBALE:** Collegando fra loro migliaia di dispositivi personali in una rete P2P – e con una blockchain con cui pagare i proprietari per usarla – si creerebbe un incentivo finanziario per realizzare un supercomputer mondiale decentrato. Quando il proprietario dorme, per esempio, il suo computer e il suo telefono potrebbero essere affittati da scienziati che desiderano far girare un modello. C'è già un progetto, detto Golem, che ci lavora. «Nei tanti portatili fermi a far nulla c'è una potenza di calcolo molto più grande di quella di tutti i data center», dice Gupta. «Intelligenza artificiale, modelli climatici: tutto questo potrebbe andare mille volte più veloce.»

4

LIMITI E PERICOLI DELLE BLOCKCHAIN

«Una blockchain fornisce un substrato che, se certe ipotesi sono rispettate, è molto difficile manipolare *ex post*», dice Emin Gün Sirer, ricercatore alla Cornell University. «Però non vuol dire che tutto quello che è registrato in una blockchain sia vero o desiderabile. Se mi attacca un hacker, qualcuno ruba i miei criptosoldi e cerca di usarli, vorrei poter annullare quella transazione. Qui l'inalterabilità diventa un limite». Inoltre è facile confondere l'immutabilità teorica di una blockchain con la sicurezza vera e propria dei dati: in realtà blockchain pubbliche come quelle di Ethereum e Bitcoin non criptano nessuna informazione. Behlendorf, della Fondazione Linux, va oltre: «Non bisognerebbe mai usare il libro mastro per conservare dati personali o comunque sensibili, neanche in forma cifrata, perché sappiamo che sebbene siano cifrati probabilmente nel giro di 40 o 50 anni si potranno decifrare» grazie al progresso della tecnologia. C'è chi parla di blockchain come panacea dei problemi sociali che hanno a che fare con la fiducia, ma non è che cieco ottimismo. Sui limiti di questa tecnologia, si veda anche p. 58.

COME REGOLAMENTARE UN SISTEMA DECENTRATO?

Vista la reputazione delle valute digitali come una specie di Far West, è facile dare per scontato che siano nate per smantellare o evitare le regole finanziarie. Ma non è proprio così. Il Bitcoin, dopotutto, è pieno di regole; solo che sono definite e imposte dal codice sorgente (e dall'attività collettiva della rete P2P), non da Stati o istituzioni finanziarie. «L'innovazione è nel sottrarre la tenuta dei registri contabili alla governance sociale», dice Patrick Murck, avvocato che studia le politiche e la regolamentazione delle blockchain alla Harvard University. Il fine di Ethereum, sostegno alla diffusione di contratti smart autonomi, è regolativo. Si potrebbe sostenere che una blockchain non è che un sistema di regole imposte per via matematica su quello che si può e non si può fare con i record di una banca dati.

Quello che conta nella regolamentazione della finanza, decentrata o meno, è chi fa le regole e come. «Se hai un sistema decentrato, le regole non hanno dove attaccarsi, ma in ogni punto in cui il sistema ammette intermediari terzi, arriveranno le normative», dice Murck. Nel 2013 la Cina ha bandito le criptovalute dal sistema bancario e a settembre 2017 ha ordinato di chiudere i cambiavalute Bitcoin del paese. Stati Uniti e Giappone si preparano a regolamentare i cambia-criptovalute e le «offerte iniziali di moneta» con le stesse regole di vigilanza a cui sono sottoposte borse e banche di investimento.

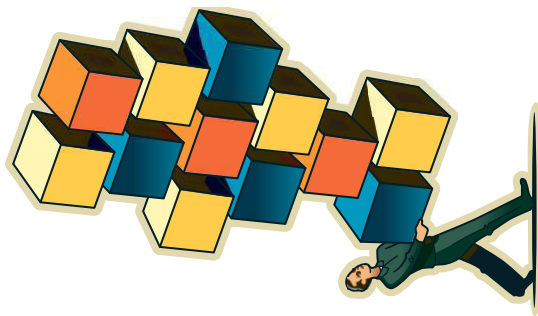
Una delle applicazioni future della blockchain è nella sicurezza dei dati di identità digitale e per Morris potrebbero emergere nuove criptovalute che uniscono dati di identità con informazioni finanziarie. Certo, non avrebbero l'anonimato dei Bitcoin. Ma via via che la moneta digitale diventa di uso quotidiano, i vantaggi in termini di sicurezza e stabilità percepite potrebbero rendere la sorveglianza tollerabile e anche desiderabile. Dice Murck: «Se devo affidare a qualcuno una mia proprietà affinché la custodisca e operi transazioni, che si tratti di Bitcoin o di pupazzetti da collezione, bisognerà pure che abbia delle regole, o che stia per averle.»

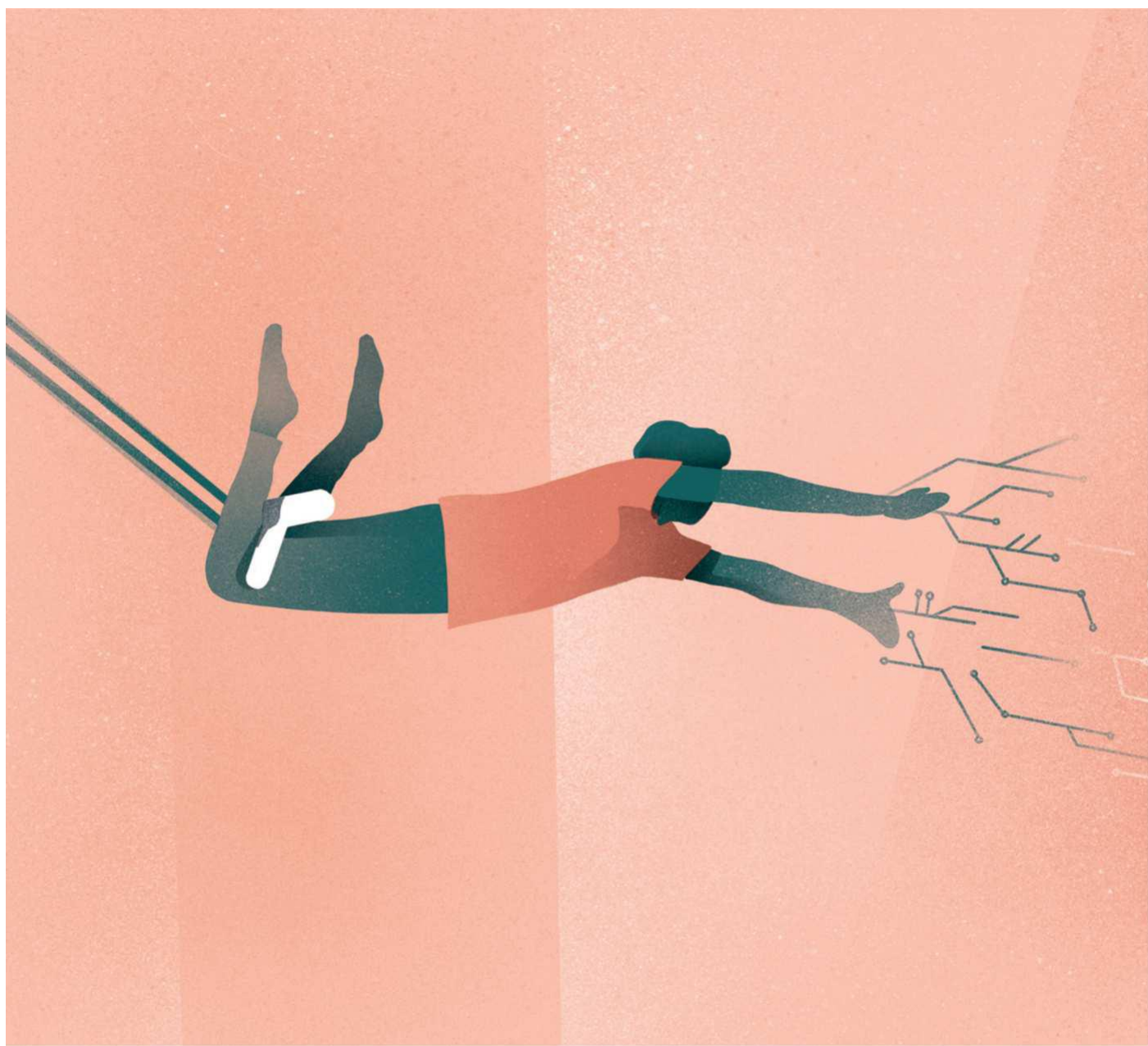
5

UNA BLOCKCHAIN PUÒ ESSERE VIOLATA?

Finora la blockchain di Bitcoin – la prima, la più vasta e la più usata al mondo – non è mai stata compromessa o violata da hacker. Ma questo non vuol dire che ogni blockchain sia per definizione inviolabile. «Non esistono tecnologie perfette», dice Emin Gün Sirer della Cornell University, e direttore della Initiative for Cryptocurrencies and Smart Contracts. Ecco tre possibili punti deboli.

▪ **ATTACCO:** Le reti delle criptovalute basate su blockchain affidano la propria sicurezza a due risorse inesauribili: velocità e avidità dei miner. Ma è teoricamente possibile sopraffare entrambe. Per sovvertire il meccanismo di consenso della blockchain, un gruppo di hacker dovrebbe prendere il controllo della maggioranza dei nodi della rete. Ciò darebbe loro il controllo su quali blocchi devono essere sottoposti a mining e come. Potrebbero invertire le nuove transazioni, spendendo più volte lo stesso denaro digitale. O potrebbero impedire che siano convalidate transazioni di altri. Sembra improbabile che la rete P2P di Bitcoin, che conta migliaia di nodi in tutto il mondo, possa cadere preda di un attacco del genere. Ma le valute alternative più piccole sono a rischio: nel 2016 Krypton è stata violata da un gruppo noto come The 51 Crew. Anche le blockchain che non usano il mining sono vulnerabili, perché comunque si fondano «sull'ipotesi che la maggior parte dei nodi della loro rete sia a posto», avverte Gün Sirer.

▪ **IL BUON VECCHIO ERRORE UMANO:** Compromettere la blockchain sarà pure l'equivalente informatico del muovere le montagne, ma quello che le sta intorno o accanto continua a essere vulnerabile come prima. Nel 2014 Mt. Gox, un cambiavalute Bitcoin (un intermediario che permette alle persone di convertire valute tradizionali in Bitcoin), fra errori di gestione e codici informatici difettosi ha perso 850.000 Bitcoin (che allora valevano 620 milioni di dollari). In ultima analisi una blockchain è solo un libro mastro distribuito senza un ufficio di assistenza; quindi se uno ha un portafoglio digitale gonfio di Bitcoin e perde la password, quasi certamente ha perso quel denaro per sempre. C'è un bel po' di ironia nel fatto che alcuni di coloro che usano criptovalute tengono al sicuro una copia fisica della propria password (quando non il denaro stesso, registrato su una chiavetta USB) nella cassetta di sicurezza di una banca.

▪ **QUANDO LA BLOCKCHAIN SI GONFIA:** Più che una vulnerabilità, è una conseguenza naturale di una blockchain che funziona troppo bene. Dato che in sostanza ogni nuovo blocco riconvalida tutti i blocchi precedenti, ciascuno dei nodi che eseguono la convalida ha bisogno di una copia dell'ultima versione dell'intera catena ogni volta che deve trattare una nuova transazione. Con i suoi 130 gigabyte (per ora), la blockchain di Bitcoin sta già diventando poco maneggevole. Il libro mastro di Ethereum, progettato per essere più flessibile, è già più grande di quello di Bitcoin. Se tutti quanti iniziassero a usarla, i soli a poter gestire il carico sarebbero i supercomputer ad alte prestazioni? Ciò potrebbe decentralizzare nei fatti la rete, svuotando la ragion d'essere iniziale del libro mastro distribuito.

L'evoluzione

L'impatto sociale definitivo della tecnologia blockchain dipenderà da chi avrà il controllo della nostra identità digitale

di Natalie Smolenski

Per partecipare all'economia mondiale le persone comuni devono accettare un accordo asimmetrico: le loro vite sono trasparenti per gli Stati, le banche e le grandi aziende, mentre il comportamento e i meccanismi interni degli attori più potenti è tenuto nascosto. I confini tra consumatore e cittadino sono diventati irreversibilmente confusi. Shoshana Zuboff, sociologa della Harvard University, ha definito questa interazione unidirezionale ed estrattiva «capitalismo della sorveglianza», ed è una

della fiducia

grande questione strutturale. Proprio le istituzioni che hanno il compito specifico di mediare la fiducia sociale – banche e Stato – in molte parti del mondo hanno fallito in questo compito, in particolare nell'esperienza di chi oggi ha meno di 35 anni.

Il crack finanziario del 2008 e quello che ne è seguito hanno generato un diffuso senso di impotenza. Dei casi portati in tribunale, la maggior parte si è risolta con transazioni a spese degli azionisti invece che in anni di galera per i banchieri di alto rango, il che ha persuaso molte persone che i ricchi e potenti colludono per i propri interessi. Sono questioni ben più profonde delle ricadute di mutui troppo rischiosi. L'analisi di una banca dati del 2007, in cui erano elencati 37 milioni di aziende e singoli investitori di tutto il mondo, aveva concluso che il 40 per cento della rete di relazioni era controllata dall'1 per cento di queste aziende e la maggior parte di queste era costituita da istituti finanziari.

Negli ultimi trent'anni gli utili da investimenti sono diventati la principale fonte della crescita economica per la maggior parte dei paesi, superando di gran lunga l'aumento dei redditi e arricchendo ancora di più il segmento più ricco della popolazione. Intanto, 2 miliardi di persone continuano a essere fuori dal sistema bancario,

esclusi anche dalla rete tutt'altro che perfetta e che però in linea di principio dovrebbe facilitare l'accesso al capitale. Non c'è il minimo accordo su se o come sia il caso di cambiare queste tendenze per promuovere maggiore uguaglianza economica e inclusione senza compromettere l'autonomia individuale.

Questo ci porta a un momento storico in cui la sfiducia verso l'autorità nella forme del potere e della ricchezza sta crescendo sullo sfondo di una vita economica ineludibilmente globale e mobile. C'è l'impulso a estraniarsi da tutto ciò come forma di protesta, ma c'è anche il riconoscimento che una scelta del genere sarebbe una sorta di autosabotaggio economico. Questi vincoli hanno portato tanti esperti di tecnologia di ogni parte del mondo a immaginare alternative che aumentino la fiducia, rendendola allo stesso tempo più intima e reciproca. Non è una coincidenza il fatto che la prima valuta digitale di successo del mondo, Bitcoin, sia emersa nel 2009: è una risposta al crescente desiderio di trasparenza, accesso e potere.

Bitcoin è una valuta le cui transazioni avvengono mediante una *blockchain*, cioè una nuova infrastruttura digitale che funziona come un libro mastro distribuito di transazioni, convalidate per consenso matematico, non da esseri umani; sta rivoluzionando le possibilità di scambio diretto e proprietà individuale, non solo del denaro ma di ogni bene o valore digitale.

Spesso si dice che il Bitcoin e in generale le blockchain «non hanno bisogno» di fiducia. Ma questo non è del tutto esatto: la fiducia, piuttosto, è stata allontanata dagli attori umani e trasferita a un sistema crittografico, con incentivi materiali per la partecipazione alla rete. In altre parole, si tratta di una spersonalizzazione della fiducia. A un primo sguardo, potrebbe sembrare un paradosso: la fiducia in tutte le sue forme non è si è sempre basata in qualche modo sugli esseri umani? Nella storia, l'impulso delle migrazioni e del commercio globale ha portato le reti fiduciarie ad allargarsi da piccoli gruppi di persone in cui tutti si conoscono a comunità in larga parte composte da estranei e nemici. Per espandersi sulla Terra, nutrire popolazioni sempre più numerose, fare la guerra, costruire imperi e scambiare conoscenze, le persone hanno usato tecnologie della fiducia che si sono evolute l'una a partire dall'altra, in una sequenza più o meno continua: parentela e scambio di doni, divisione del lavoro, contabilità (l'origine del credito e del debito), gerarchia, moneta, religioni universalistiche e, negli ultimi tempi, l'attività bancaria.

Agli inizi del XXI secolo la fiducia sta conoscendo un'altra fase della sua evoluzione. Proprio le banche che hanno sostenuto il capitalismo moderno agendo come sicure mediatrici della fiducia sono diventate per molti versi un impedimento al suo sviluppo. Nel nostro attuale sistema finanziario, leggi e normative tendono a disincentivare gli abusi mediante sanzioni. Con le blockchain, in futuro i sistemi potrebbero essere progettati in modo da escluderne la possibilità.

Spesso si dice che il Bitcoin e in generale le blockchain non hanno bisogno del fattore fiducia, ma le cose non stanno proprio così

Natalie Smolenski è un'antropologa culturale che si occupa dei rapporti fra identità, tecnologia e potere politico. Dirige lo sviluppo del business di Learning Machine, azienda che realizza applicazioni per l'emissione e la verifica di record ufficiali sulla blockchain che usa lo standard aperto Blockcerts.

Partendo da una blockchain

Il protocollo consensuale di Bitcoin, che imposta il quadro di requisiti e incentivi della partecipazione alla rete, è eccezionalmente efficace nel mantenere un sistema di «governo» *peer-to-peer* distribuito e aperto. Le sue transazioni sono pubbliche, anche se coperte da pseudonimi, e il codice è *open source* e mantenuto da una rete globale di sviluppatori volontari dei codici di base. La blockchain di Bitcoin inoltre non registra dati di identità: usa come indirizzi coppie di chiavi crittografiche, quella pubblica e quella privata, non gli *account*.

Ma le transazioni basate su blockchain sono più tracciabili del contante; ciò significa che una volta che una coppia di chiavi è stata collegata a un'identità nota, l'analisi della rete può per esempio aiutare la polizia a tracciare le attività degli attori che delinquono. Questa realtà è opposta alla convinzione diffusa secondo cui le criptovalute siano più adatte alle attività illegali rispetto ad altri tipi di valuta. Nei fatti, anzi, reintroducono lo spettro del capitalismo della sorveglianza. Si nota insomma che le blockchain hanno proprietà che si prestano sia all'emancipazione umana sia a un livello senza precedenti di sorveglianza e controllo. Che finiscano per essere usate per l'uno o per l'altro scopo dipende da come l'insieme del relativo software – il protocollo blockchain più il livello delle applicazioni – tratta l'identità digitale.

Riguardo al protocollo, è importante capire che le blockchain possono essere progettate in più modi diversi. In genere, la parola blockchain è usata per descrivere un tipo di sistema in cui un registro unico e universale delle transazioni è ampiamente replicato, sebbene non ci sia un accordo generale su uno specifico insieme di caratteristiche necessarie. Sono state introdotte innumerevoli catene di blocchi e sono state sviluppate per rispondere a esigenze diverse.

Ethereum, per esempio, è una blockchain pubblica che punta a essere una sorta di computer distribuito globale, l'Ethereum Virtual Machine. Nella sua catena sono immagazzinati contratti *smart*, cioè che sono eseguiti quando si verificano le condizioni in essi specificate. A differenza dei Bitcoin, gli utenti più impegnati nella rete – in base all'ammontare dei loro depositi in criptovaluta – sono ammessi a convalidare collettivamente i nuovi blocchi.

IN BREVE

Banche e Stati hanno per molti versi fallito nel proprio compito di «garanti della fiducia» dell'economia globale, soprattutto in questi ultimi decenni. Le persone diffidano ormai dei poteri centralizzati e cercano alternative.

Bitcoin, e in generale la tecnologia blockchain, permette di trasferire il compito di garantire la fiducia alle macchine, sottraendolo a intermediari umani come i banchieri. Con questa tecnologia, il sistema può essere fatto in modo da escludere gli abusi, invece di sanzionarli a posteriori.

Le blockchain si prestano sia all'emancipazione umana sia a un livello di controllo senza precedenti. Il modo in cui saranno usate dipende da come il software tratterà l'identità digitale.

Gli utenti che infrangono le regole subiscono la confisca automatica dei propri cripto-soldi.

Certe blockchain sono pensate per comunità con un livello di fiducia più elevato tra gli utenti. Queste catene, dette *permissioned* (o «ristrette»), generalmente prevedono un'autorità centrale che concede l'accesso al sistema a specifici utenti, che in questo modo possono diventare validatori delle transazione. Per assicurare la correttezza dei comportamenti, le catene permissioned tendono a contare più sulla disciplina imposta dall'autorità centrale che su incentivi materiali automatici. Un esempio importante è Ripple, una blockchain specificamente progettata come rete per le transazioni interbancarie. Analogamente, Enterprise Ethereum Alliance è composta da quasi 200 aziende associate che stanno realizzando una «cassetta degli attrezzi» con la quale un'azienda può creare una propria versione permissioned della blockchain di Ethereum.

Altre iniziative basate sempre su blockchain sono dette semplicemente libri mastri distribuiti perché potrebbero non avere una o tutte le caratteristiche tipiche delle blockchain. In genere sono permissioned e molte delle relative transazioni sono mantenute riservate. Un grande libro mastro distribuito è R3 Corda, sviluppato da un consorzio di banche per facilitare il consenso sugli accordi finanziari.

I progetti che minimizzano le informazioni identificative personali sono ancora rari perché non sono facili da monetizzare

Blockchain permissioned e libri mastri distribuiti sono nati, fra l'altro, per poter includere qualche genere di verifica dell'identità di chi esegue convalide e transazioni nella rete. (Per scelta progettuale, non c'è alcuna convalida di identità nel protocollo della blockchain di Bitcoin.) Il campo dell'identità è il terreno su cui le potenzialità di emancipazione o di oppressione delle blockchain troveranno realizzazione sociale. Quanto più è facile legare le transazioni di qualcuno a un'identità – e quanto più centralizzata e soggetta a controllo esterno diventa l'identità digitale degli individui – tanto più si moltiplicano le possibilità di abusi.

Promesse e pericolo

I non esperti non possono usare alcuna blockchain in modo diretto, allo stesso modo in cui non possono usare Internet direttamente. Queste persone, invece, usano applicazioni che in un modo o in un altro usano la blockchain su cui sono basate. A livello delle applicazioni può regnare una confusione mai vista e, spesso, vera e propria malafede. La storia dei Bitcoin, per esempio, è piena di banchi di cambio di criptovalute e *provider* di portafogli digitali con grosse lacune nella sicurezza delle applicazioni, e di conseguenti violazioni di alto profilo e accuse di appropriazione indebita. Nel caso della rete Ethereum, le vulnerabilità hanno portato al furto o alla perdita di milioni di dollari nella sua criptovaluta, Ether, senza praticamente alcun rimedio per gli utenti. In generale, usare una qualunque applicazione realizzata da una terza parte ritenuta affidabile per contenere beni digitali basati su blockchain continua ancora oggi a essere un proposito assai insicuro.

Questo è il punto in cui la blockchain finisce in un vicolo cieco: il pubblico non accetta le blockchain senza applicazioni facili da usare, ma spesso la facilità si ottiene con una centralizzazione che riproduce proprio il genere di controllo che la blockchain intendeva evitare.

Se le blockchain devono diventare utili a vasto raggio, però, è necessaria qualche correlazione tra identità e transazioni. Ma forse per identità non si dovrà intendere la rivelazione integrale di chi si è. Come qualcuno ha sostenuto nella comunità dei Bitcoin, l'ossessione attuale sulla verifica dell'identità è mal posta; in genere si desidera sapere solo se qualcuno dichiara il vero o il falso su una questione specifica: hai più di 21 anni? Hai davvero ottenuto un PhD al MIT? Hai la cittadinanza degli Stati Uniti? La struttura degli incentivi del capitalismo della sorveglianza ci ha abituato a credere che la cessione dei dati personali senza alcun limite sia necessaria per andare avanti nel mondo. La demolizione di questo preconcetto è tra le più radicali conseguenze che potrebbero avere le tecnologie blockchain.

Per esempio, immaginiamo un futuro sistema di voto digitale. Una commissione elettorale deve poter correlare l'espressione di un voto con un elettore iscritto alle liste elettorali, in modo da poter contrassegnare il voto di quell'elettore come «già espresso». Ma per farlo non c'è necessariamente bisogno di comunicare l'identità dell'elettore alla commissione: si potrebbe semplicemente verificare che l'elettore sia iscritto alla lista e registrare il fatto che ha votato, senza mai collegare il voto con il votante.

I progetti che minimizzano la dispersione delle cosiddette informazioni identificative personali sono ancora rari, in parte perché non sono facili da monetizzare, né in denaro né in quell'altro tipo di «denaro» che sono i dati personali. Un esempio di questi progetti è Blockcerts, una serie di librerie gratuite di riferimenti sviluppata dal Media Lab del Massachusetts Institute of Technology e dalla Learning Machine, la società in cui lavoro anche io. Blockcerts permette ai singoli di tenere i propri beni digitali in un portafoglio privato residente sui loro stessi dispositivi. I documenti rilasciati a una persona non sono associati ad alcun profilo di identità a meno che il ricevente non lo voglia. I codici sono tutti open source, quindi se ne può verificare l'integrità e chiunque può usarli per costruire proprie applicazioni con cui inviare, conservare, condividere e verificare documenti ufficiali. Questo approccio basato sulle richieste è un passo verso quella che qualcuno, nelle discussioni sull'identità digitale, ha chiamato «identità autosovrana»: in altre parole, il riconoscere agli individui il controllo «a livello di amministratore» dei propri dati.

In effetti, nella gestione della fiducia la tecnologia blockchain ha un carattere dirompente. Ma se le applicazioni basate su di essa non sono progettate a partire da una scelta di fondo per l'autosovranità digitale, non c'è nulla, in linea di principio, che impedisca che gli esseri umani siano trattati come oggetti di una catena di fornitura, di cui è registrata ogni mossa e attività, anche in via permanente. Creare identità digitali che abbiano un'esistenza indipendente da Stati e grandi aziende è la prossima grande sfida che le blockchain ci pongono e, allo stesso tempo, potrebbero contribuire a risolvere. ■

PER APPROFONDIRE

Debt: The First 5000 Years. Graeber D., edizione aggiornata, Melville House, 2014.

The Age of Cryptocurrency: How Bitcoin and Digital Money Are Challenging the Global Economic Order. Casey M. e Vigna P., St. Martin's Press, 2015.

Big Other: Surveillance Capitalism and the Prospects of an Information Civilization. Zuboff S., in «Journal of Information Technology», Vol. 30, n. 1, pp. 75-89, marzo 2015.

MEDICINA

In guerra contro se stessi

Il sistema immunitario può attaccare farmaci innovativi, contrastandone l'azione. Ma ora gli scienziati iniziano a capire come respingere quell'attacco

di Michael Waldholz

Illustrazione di Bill Mayer

Michael Waldholz, giornalista, ha diretto un gruppo di giornalisti che nel 1997 ha ricevuto il premio Pulitzer per reportage sull'AIDS.

Da quando ne ha memoria, fin da quando era bambino e viveva in una piccola fattoria del Michigan, Ken Martin ha dovuto combattere contro il tradimento del suo stesso corpo. Martin, oggi cinquantenne, è affetto dalla nascita da emofilia: basta un taglio per farlo sanguinare in modo quasi incontrollabile. Se una vena o un'arteria subiscono una lesione, il sangue che trasportano si accumula in una dolorosa bolla sottocutanea. Se lo stesso accade a un ginocchio, evento non raro, Martin si ritrova a zoppicare con le stampelle o addirittura costretto in sedia a rotelle fino a quando l'emorragia lentamente si arresta. Ma non è tutto: il corpo gli ha riservato anche un'altra brutta sorpresa. L'emofilia è causata dalla mancanza di un gene che codifica per una proteina coagulante indispensabile, e molti malati sono perciò sottoposti periodicamente a infusioni della molecola mancante, il Fattore VIII.

Se però Martin riceve un'iniezione di Fattore VIII, il suo sistema immunitario invia uno sciame di anticorpi contro la proteina coagulante, spazzandola via come se fosse un germe infettivo. «Non ho mai beneficiato di alcuna terapia a base di Fattore VIII», dice Martin, sposato con due figli, che nonostante la malattia si è costruito una carriera di successo come ingegnere nell'industria automobilistica. Martin affronta le sue emorragie tenendo sollevata la parte gonfia e applicandovi ghiaccio, rimanendo a riposo e portando «molta pazienza», come dice. Le persone affette da emofilia negli Stati Uniti sono circa 20.000, e di queste circa il 30 per cento è soggetta a reazioni immunitarie simili a quelle di Martin.

Il problema degli anticorpi antifarmaco (ADA, dall'inglese *antidrug antibodies*) non riguarda solo i disturbi di coagulazione del sangue. Gli ADA sono una minaccia per alcuni dei più recenti medicinali contro il cancro, le malattie cardiovascolari e molte malattie autoimmuni, come l'artrite reumatoide. Questi farmaci, detti «biologici», mimano le proteine esistenti in natura e di conseguenza sono spesso più efficaci dei farmaci tradizionali, cioè delle pastiglie che assumiamo abitualmente e che contengono piccole quantità di sostanze di sintesi. Poiché però il nostro sistema immunitario è predisposto per rilevare proteine estranee, alcuni pazienti reagiscono ai biologici come se fossero invasori batterici, innescando un'offensiva di anticorpi che raramente si osserva con le normali pillole o compresse. Il risultato è che i farmaci biologici possono essere bloccati o distrutti prima ancora di esercitare i loro effetti benefici.

I pionieri dei biologici pensavano che il sistema immunitario umano non li avrebbe trattati come estranei, perché molti di questi farmaci erano basati su geni e proteine umani. Evidentemente erano troppo ottimisti. Quando si verificano reazioni immunitarie, spesso sono abbastanza serie da deteriorare il farmaco. Questa consapevolezza si è trasformata in allarme quando i farmaci biologici sono diventati una parte importante del nostro arsenale medico. Secondo l'ente di ricerca IMS Institute for Healthcare Informatics, nel 2002 i biologici rappresentavano l'11 per cento del mercato farmacologico mondiale, mentre nel 2017 si aggirano tra il 19 e il 20 per cento, e le aziende farmaceutiche ne producono sempre di più. «Con l'esplosione dei prodotti biologici sul mercato e nelle linee di ricerca, i nostri timori sull'efficacia e sulla sicurezza di questi farmaci sono aumentati», dice Amy Rosenberg, direttrice della divisione della Food and Drug Administration che regola le proteine terapeutiche.

Probabilmente è proprio una reazione immunitaria la ragione per cui Humira, farmaco biologico sviluppato da AbbVie e usato nelle terapie delle malattie infiammatorie croniche intestinali, della psoriasi e dell'artrite reumatoide, non è efficace in un quinto dei pazienti trattati, se non addirittura di più, come rilevano alcuni studi. La Pfizer ha dovuto ritirare il bococizumab, un pro-

IN BREVE

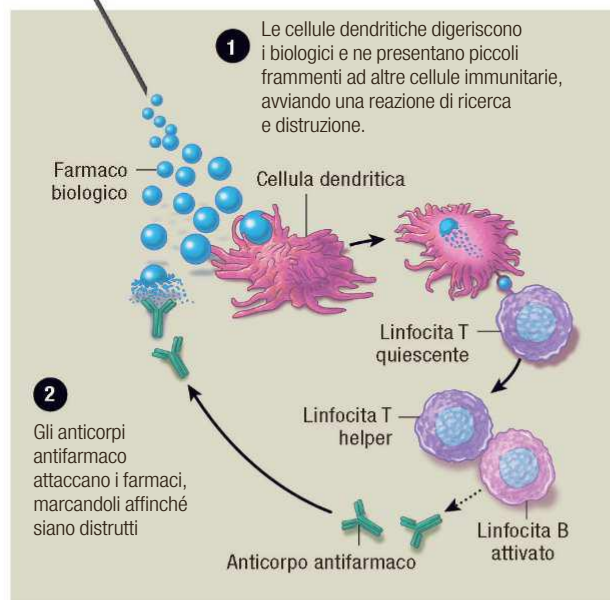
Gli anticorpi antifarmaco sono un problema crescente e grave: innescano una reazione immunitaria che distrugge molti farmaci innovativi o ne contrasta gli effetti.

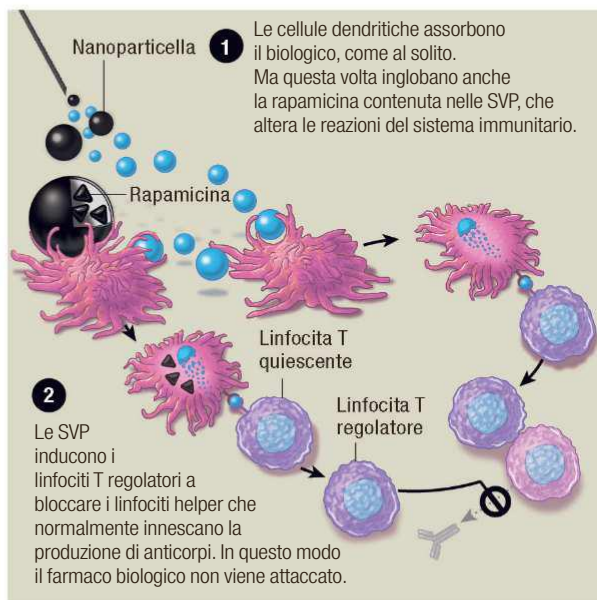
I farmaci contro il cancro, le malattie cardiovascolari e altre patologie gravi perdono efficacia nei pazienti in cui agiscono questi anticorpi.

Una delle nuove strategie per contrastare gli anticorpi consiste nell'allenare l'organismo a tollerare i farmaci con una tecnica simile a quella dei vaccini.

COME FUNZIONA

Fermare le reazioni negative

I «biologici», i farmaci più recenti per trattare malattie letali come il cancro e le patologie cardiovascolari, sono basati su proteine. Talvolta però il sistema immunitario dell'organismo reagisce a queste molecole inviando anticorpi antifarmaco per distruggerle. La Selecta Biosciences sta sviluppando particelle sintetiche con funzione di vaccino (SVP) che riducono l'avversione del sistema immunitario verso questi farmaci.

Quando un anticorpo attacca

Le cellule dendritiche del sistema immunitario reagiscono ai farmaci a base di proteine come se difendessero l'organismo da batteri invasori. Le cellule trasportano piccoli frammenti del farmaco verso linfociti T *helper* quiescenti, attivandoli.
A quel punto i linfociti T segnalano alle «fabbriche» di anticorpi antifarmaco (ADA), detti linfociti B, di mettersi in moto.

Più tolleranza per i farmaci

Le SVP sono nanoparticelle contenenti rapamicina, un modulatore del sistema immunitario.
Sono iniettate simultaneamente ai farmaci biologici.
Entrambi i tipi di molecole sono inglobati dalle cellule dendritiche che a causa di questo accoppiamento non segnalano il farmaco all'organismo come invasore.

mettente farmaco biologico anticolesterolo, dopo averlo testato su oltre 25.000 persone. Nel tempo il farmaco perdeva la sua efficacia, e in sei sperimentazioni quasi la metà dei soggetti trattati con bococizumab hanno sviluppato ADA. Secondo Paul Ridker, cardiologo al Brigham and Women's Hospital e supervisore degli esperimenti, è probabile che il fallimento del farmaco fosse dovuto proprio agli anticorpi.

A ottobre 2016, ricercatori del Netherlands Cancer Institute di Amsterdam hanno riferito che oltre la metà dei farmaci biologici testati in 81 studi clinici in tutto il mondo produceva anticorpi. Gli scienziati non erano però in grado di stabilire se la loro attività ostacolasse in tutti i casi il farmaco. Di recente la casa farmaceutica svizzera F. Hoffmann-La Roche ha sospeso lo sviluppo di una proteina efficace nella terapia dei tumori al seno e ai polmoni dopo che ha innescato ADA in studi iniziali sugli esseri umani.

Il fallimento di questi farmaci costa caro ai pazienti e ha un prezzo elevato anche per le case farmaceutiche, dell'ordine di centinaia di milioni di dollari. Ci sono quindi timori diffusi. Nel 2016 la FDA ha esortato le aziende farmaceutiche a migliorare le tecnologie di sperimentazione sugli ADA, a rilevare questi anticorpi prima e durante gli studi clinici e a riferire la comparsa di reazioni immunitarie e le relative ripercussioni sull'efficacia dei farmaci e sulla sicurezza dei pazienti. «È importante raccogliere prove che prima non chiedevamo», dice Rosenberg.

Da parte loro i ricercatori chiedono una maggiore tolleranza, ma non verso i farmaci inefficaci. Vogliono più tolleranza alle molecole biologiche da parte del sistema immunitario. In una ricerca che desta vivo interesse, alcuni immunologi stanno testando nuove tecniche per «insegnare» al sistema immunitario ad accettare i nuovi biologici, a considerarli normali, non invasori indesiderati. Altre aziende biotech lavorano sulla tolleranza intervenendo già sulle molecole terapeutiche, sviluppando cioè sostanze prive di quelle caratteristiche che generano gli allarmi immunitari. Una in particolare sfrutta gli anticorpi stessi per sviluppare farmaci con una reazione immunitaria minima.

Distinguere gli amici dai nemici

Selecta Biosciences, azienda biotech con sede vicino a Boston, sta cercando di aumentare la tolleranza grazie alle nuove conoscenze sui meccanismi con cui il sistema immunitario distingue tra gli agenti patogeni da distruggere e le cellule umane da lasciare indisturbate. Un trial clinico ha rilevato che la terapia più innovativa di Selecta previene le reazioni ADA che ostacolano l'azione di un farmaco per la gotta grave, una forma invalidante di artrite.

Illustrazione di Mesa Schumacher

Secondo quanto dichiarato dall'azienda, sembra che questa tecnica aumenti anche l'efficacia delle terapie per il cancro e per malattie genetiche inibite dagli ADA.

«Abbiamo trovato un metodo per manipolare il sistema immunitario in un modo molto specifico», dice Takashi Kei Kishimoto, responsabile scientifico di Selecta. «È da tempo che gli immunologi ci stanno provando».

La tecnologia di Selecta ha avuto origine nell'Harvard Medical School Laboratory di Ulrich Von Andrian, che da anni cerca di scoprire come i difensori dell'organismo segnalano la presenza di agenti infettivi nocivi. Dopo aver capito come le cellule del sistema immunitario si spostano nell'organismo per raggiungere la sede di un'infezione, lo scienziato si è concentrato sulle cellule dendritiche, che sembrano agire da ufficiali di comando nell'esercito del sistema immunitario. Sono loro a segnalare le offensive contro i patogeni invasori. Quando incontra un virus o un qualsiasi altro germe nocivo, la cellula dendritica trasporta un frammento unico dell'intruso, detto «antigene», in uno dei numerosi nodi linfatici distribuiti nell'organismo. «Volevo studiare che cosa succede nei nodi linfatici per capire le regole di questa "sorveglianza immunitaria"», dice Von Andrian.

A partire dal 1994 Von Andrian ha applicato tecniche di *imaging* sempre più potenti per ricostruire il traffico cellulare in entrata e in uscita dai compartimenti linfonodali dei topi. Con i suoi colleghi è riuscito a osservare le cellule dendritiche mentre trasmettevano l'identità antigenica di un patogeno ad altre cellule che compongono il sistema immunitario, i linfociti T, un po' come i corridori di una staffetta che si passano il testimone. Una volta attivati, i linfociti T scatenavano una serie di meccanismi immunitari, compresi gli anticorpi, contro l'invasore indesiderato.

Se non è possibile vincere una risposta immunitaria antagonista, un'altra strategia è creare molecole che non la scatenino

Una decina d'anni fa il gruppo di Von Andrian ha ricostruito le modalità con cui le cellule dendritiche innescano e fermano le battaglie del sistema immunitario. I ricercatori volevano scoprire in che modo un farmaco, la rapamicina, riuscisse a sfruttare l'azione delle cellule dendritiche per sopprimere l'attività immunitaria. Hanno combinato la rapamicina con antigeni prelevati da cellule di tessuti sani, e la combinazione ottenuta veniva affrontata, come al solito, dalle cellule dendritiche. Questa volta però le cellule dendritiche diventavano «tollerogeniche» anziché combattere attivamente contro gli invasori. I linfociti T non venivano attivati, e anzi impedivano la formazione degli anticorpi, aumentando la tolleranza. Queste cellule T riuscivano anche a sopprimere altre attività del sistema immunitario capaci di provocare infiammazioni dannose per i tessuti.

Di fronte a questa «doppia natura» delle cellule dendritiche, Von Andrian ha pensato di aver trovato un modo affidabile per innescare l'azione protettiva delle cellule; quel processo avrebbe potuto sopprimere le risposte immunitarie iperattive che sono alla base delle malattie autoimmuni come artrite reumatoide, sclerosi multipla o diabete di tipo 1. In queste patologie il sistema immunitario attacca per errore tessuti sani, allo stesso modo in cui gli ADA attaccano i biologici.

Von Andrian non lo sapeva, ma in quello stesso momento alcuni ricercatori del vicino Massachusetts Institute of Technology stavano sviluppando un metodo per comunicare con le cellule dendritiche, ovvero per «accendere» o «spegnere» una risposta immunitaria. Nel laboratorio del bioingegnere Robert Langer gli scienziati stavano progettando particelle biodegradabili su scala nanometrica, più o meno delle dimensioni di un virus, capaci di trasportare agenti anticancro nel flusso ematico per raggiungere le sedi tumorali. Erano state gettate le basi per la tecnologia Selecta.

Von Andrian – al quale alcuni scienziati avevano chiesto una consulenza sulla messa in commercio delle particelle – ha pensato che probabilmente sarebbe stato possibile strutturare le nanoparticelle, composte da un polimero solubile detto acido poli(lattico-*co*-glicolico), in modo che racchiudessero e trasportassero una firma antigenica alle cellule dendritiche dentro ai nodi linfatici. Ma è stato Kishimoto a trovare un impiego diverso per questa funzione di trasporto. «Ho capito che le nanoparticelle avrebbero potuto essere usate per prevenire gli ADA».

Come un vaccino

Nel frattempo gli scienziati avevano già dato vita a Selecta e lavoravano sulle SVP (dall'inglese *synthetic vaccine particle*), cioè su particelle sintetiche con funzione di vaccino. L'idea di Kishimoto era inserire rapamicina nelle SVP insieme all'antigene di un determinato biologico. Una volta iniettate sotto la cute o in un muscolo, le particelle avrebbero raggiunto i nodi linfatici. Qui avrebbero indotto le cellule dendritiche a produrre una «impennata» di tolleranza, sotto forma di linfociti T regolatori che avrebbero impedito la formazione di anticorpi contro qualsiasi farmaco fosse stato combinato dai ricercatori con la nanoparticella.

Selecta ha testato questa soluzione affrontando il problema degli anticorpi nei malati di emofilia. I ricercatori hanno iniettato nanoparticelle contenenti rapamicina e un antigene del Fattore VIII a topi privi del fattore di coagulazione. Successivamente hanno somministrato ai topi il Fattore VIII. Secondo quanto riportato in un articolo del 2015 pubblicato sui «Proceedings of the National Academy of Sciences», dopo dieci trattamenti settimanali la terapia riduceva il numero di anticorpi contro il Fattore VIII. (Oggi l'azienda collabora con ricercatori che stanno sviluppando una terapia genica per la coagulazione centrata sull'uso di una nanoparticella).

Soddisfatta dagli esiti raggiunti con le SVP, Selecta ha rivolto l'attenzione alla gotta, un tipo di artrite particolarmente doloroso che, se trascurato, può consumare i tessuti delle ossa e delle articolazioni. Solo negli Stati Uniti sono circa 8 milioni le persone affette da questa malattia, che si verifica quando l'acido urico si accumula in grandi quantità nel sangue e cristallizza. Questo processo può danneggiare vasi sanguigni e reni, e nei casi più gravi può anche essere letale.

Per la gotta c'è una terapia biologica, una versione sintetica di un enzima presente in molti mammiferi, l'uricasi, che degrada i cristalli. Gli esseri umani però non producono questo enzima, che quindi per il nostro sistema immunitario è un estraneo. Più del 40 per cento dei pazienti trattati con uricasi sviluppa ADA che neutralizzano l'azione del farmaco.

La terapia con SVP funziona analogamente a quella testata per il Fattore VIII. Le nanoparticelle, contenenti uricasi sintetica e rapamicina, puntano alle cellule dendritiche per mettere pace nel sistema immunitario. Nell'estate 2017 un trial iniziale effettuato su malati di gotta ha rivelato che la terapia, somministrata una vol-

ta al mese, riduce quasi a zero i livelli ematici di acido urico, senza indurre anticorpi. «È una tecnica affascinante», sostiene David W. Scott, immunologo dell'Uniformed Services University. «È importante soprattutto perché funziona attivando i processi immunosoppressori propri del sistema immunitario».

Insieme alla collega Kathleen Pratt, Scott sta studiando un modo per evitare la formazione di ADA modificando geneticamente i linfociti T regolatori per proteggere un farmaco proteico. In un esperimento pubblicato l'anno scorso, questi linfociti T sviluppati in laboratorio riuscivano a prevenire la formazione di anticorpi contro il Fattore VIII sia in campioni di sangue raccolti da donatori sani sia in topi affetti da emofilia. Secondo Scott, però, ci vorranno anni prima che sia commercializzato un farmaco.

Niente più rigetti

Se non è possibile fermare una risposta immunitaria antagonista, un'altra soluzione per indurre la tolleranza è progettare molecole biologiche che non la scatenino. Anche in questo caso, una delle malattie nel mirino è l'emofilia. Alnylam Pharmaceuticals di Cambridge, in Massachusetts, sta sviluppando un farmaco per l'emofilia basato sull'RNAi, o interferenza dell'RNA, una scoperta premiata con il Nobel per la medicina nel 2006. Gli artefici della scoperta, Craig Mello, della University of Massachusetts Medical School, e Andrew Fire, della Stanford University School of Medicine, hanno osservato che iniettando piccole molecole di RNA a doppio filamento era possibile interferire con le molecole più lunghe di RNA che le cellule inviano per trasmettere gli ordini di produzione alle loro «fabbriche» di proteine. In questo modo le cellule interrompevano la produzione di determinate proteine.

Gotta grave ed emofilia sono malattie per cui una soluzione al problema degli anticorpi antifarmaci migliorerebbe la vita dei pazienti

Uno dei primi farmaci sviluppati da Alnylam è Fitusiran, una sostanza di sintesi che mima l'azione di una molecola RNAi. Fitusiran interferisce con una proteina che blocca la produzione di trombina, altra proteina fondamentale per la coagulazione del sangue. L'eliminazione della prima proteina provoca un aumento di trombina nell'organismo e di conseguenza favorisce la coagulazione e riduce le emorragie causate dall'emofilia. In un articolo pubblicato nel 2017 dal «New England Journal of Medicine» gli scienziati di Alnylam hanno riferito che in un trial clinico di 20 mesi erano riusciti a ridurre gli episodi di emorragia in 25 malati di emofilia iniettando loro il farmaco una volta al mese.

Secondo Akin Akinc, direttore del progetto Fitusiran di Alnylam, il vantaggio immunologico dell'RNAi applicata ai farmaci è che, a differenza delle proteine, i medicinali basati sull'RNA in genere non stimolano gli anticorpi antifarmaco. E se uno studio allargato darà esiti positivi la terapia potrebbe essere disponibile nel 2020. Alnylam sta realizzando anche una molecola RNAi che agisce sullo stesso bersaglio del farmaco anticolesterolo sviluppato e poi ritirato da Pfizer – quello che provocava frequenti reazioni ADA – ma non scatena attacchi immunitari.

Gli anticorpi non si limitano ad aggredire gli invasori: hanno anche altre funzioni che offrono diverse soluzioni ai problemi farmacologici a essi legati. Per esempio possono unire due proteine tra loro. Gli scienziati della casa farmaceutica giapponese Chugai hanno sfruttato questa proprietà per sviluppare un'altra terapia per l'emofilia, in questo caso per raggirare il Fattore VIII e le relative criticità. Le terapie contro l'emofilia si concentrano sul Fattore VIII perché è un passaggio essenziale di una serie di reazioni chimiche a catena detta «cascata coagulativa». Il Fattore VIII unisce infatti altre due proteine, i Fattori IX e X: un passaggio chiave nella formazione di un coagulo. Purtroppo, però, può anche attirare anticorpi distruttori.

I ricercatori hanno ideato un anticorpo sintetico, simile a quelli umani, che fa da ponte chimico, legando tra loro i Fattori IX e X e rendendo quindi superfluo il Fattore VIII. Questo anticorpo usato come farmaco è chiamato emicizumab. In due studi clinici resi noti lo scorso anno, emicizumab è stato somministrato una volta alla settimana per prevenire episodi di emorragia in malati di emofilia che avevano sviluppato anticorpi contro il Fattore VIII. Negli adulti, il farmaco riduceva le emorragie dell'87 per cento. In una piccola percentuale di pazienti si formavano anticorpi contro emicizumab, ma apparentemente questi ADA non interferivano con l'efficacia del farmaco, secondo quanto riferito da Gallia Levy della società biotech Genentech, che ha iniziato a sviluppare il farmaco insieme a Chugai dopo l'acquisizione di entrambe le aziende da parte di Roche. La terapia non è perfetta: in alcuni pazienti si formavano coaguli che bloccavano il flusso ematico normale, e un malato è deceduto per un'emorragia non legata al farmaco. Ma l'FDA ha accordato la revisione prioritaria (*priority review*) al farmaco e lo ha approvato a novembre 2017.

«Potrebbe essere una svolta», sostiene Michael Callaghan, ematologo del DMC Harper University Hospital and Children's Hospital del Michigan, che segue diversi malati nella sperimentazione di emicizumab. (Callaghan è pagato da Genentech per confrontarsi sul farmaco con altri medici.) Uno dei suoi pazienti è Ken Martin. «Il signor Martin combatte una battaglia molto lunga e faticosa», dice Callaghan. «Questo farmaco gli ha cambiato la vita».

Martin è d'accordo. Per anni ha tenuto un diario degli episodi emorragici. Prima di essere inserito nella sperimentazione su emicizumab, a luglio 2016, era soggetto a una media di 46 emorragie all'anno. Da quando ha iniziato ad assumere il farmaco se ne sono verificate solo tre. Però soffre ancora. Dopo anni di infiammazioni e di sangue accumulato nelle articolazioni, Martin ha un'artrite grave a ginocchia, caviglie, gomiti e spalle. Il suo augurio è che la somministrazione del farmaco in giovane età ai malati che sviluppano ADA possa evitare questi problemi. Non sono ancora stati effettuati test in questo senso. Ma, anche nel suo stadio avanzato, Martin è felice di avere un rimedio con cui il suo organismo riesce a convivere. «Sono molto fortunato», dice. ■

PER APPROFONDIRE

Polymeric Synthetic Nanoparticles for the Induction of Antigen-Specific Immunological Tolerance. Maldonado R.A. e altri in «Proceedings of the National Academy of Sciences», Vol. 112, n. 2, pp. E156-E165, 13 gennaio 2015.

Assay Development and Validation for Immunogenicity Testing of Therapeutic Protein Products: Guidance for Industry. Documento di orientamento, U.S. Food and Drug Administration, aprile 2016. **www.fda.gov/downloads/drugs/guidancecomplianceregulatoryinformation/guidances/ucm192750.pdf**.

Improving the Efficacy and Safety of Biologic Drugs with Tolerogenic Nanoparticles. Kishimoto T.K. e altri, in «Nature Nanotechnology», Vol. 11, n. 10, pp. 890-899, ottobre 2016.

Targeting of Antithrombin in Hemophilia A or B with RNAi Therapy. Pasi K.J. e altri, in «New England Journal of Medicine», Vol. 377, n. 9, pp. 819-828, 31 agosto 2017.

Possiamo salvare i coralli?

Un corallo *Acropora* nel Great Barrier Reef australiano libera gruppi di uova e spermatozoi. Lungo le migliaia di chilometri di lunghezza della barriera, i coralli depongono le uova una volta all'anno, durante l'estate.

Gli scienziati cercano di trapiantare, fecondare e potenziare i coralli per aiutarli ad adattarsi a oceani più caldi, ma la ricostruzione di intere barriere sarà una vera e propria sfida

di Rebecca Albright

IN BREVE

Il riscaldamento degli oceani sta uccidendo i coralli. Gli scienziati stanno testando diversi metodi per aiutarli ad adattarsi, incluso il trapianto di coralli fecondati in laboratorio.

I ricercatori hanno scoperto che stressare i coralli può attivare geni che portano a una prole più resiliente, e che potenziare determinate alghe migliora di molto la salute dei coralli.

Queste tecniche possono ripristinare i reef su scala regionale, ma un rilancio su scala mondiale può avvenire solo se gli esseri umani rallentano il riscaldamento globale.

Rebecca Albright è una biologa specializzata in coralli e curatrice alla California Academy of Sciences. Le sue ricerche si concentrano su come gli ecosistemi delle barriere coralline affrontano i cambiamenti ambientali.

Sono a piedi nudi su una spiaggia australiana; chiudo la muta prima di immergermi nel Great Barrier Reef, la grande barriera corallina che si estende per 2300 chilometri nel Pacifico. Mentre ho lo sguardo perso nell'oceano, sento la stessa eccitazione dell'ultima volta in cui mi sono immersa qui, dieci anni fa. Sono cresciuta in Ohio, leggendo libri sulla vita del biologo marino, oppure attaccata alla televisione a guardare Discovery Channel. Sempre in Ohio ho preso il brevetto da sub, in una delle torbide cave di calcare, e un anno più tardi sono riuscita ad arrivare al Great Barrier Reef.

Mi ricordo che quel giorno ero talmente piena di aspettative da avere il batticuore. Con la mia amica Emily, oggi un'esperta di alghe marine, avevo scommesso quanto a lungo saremmo riuscite a far durare l'aria: alla fine erano state circa due ore, magiche. Eravamo rimaste incantate da una foresta di coralli dai colori vivaci, in cui pullulavano seppie, tridacne giganti violette e tartarughe marine aggraziate.

Ed eccomi di nuovo qui, questa volta come ricercatrice post doc all'Australian Institute of Marine Science. Procedo finché l'acqua mi arriva al mento, metto la testa sott'acqua e guardo attraverso la maschera. Un tuffo al cuore: niente più seppie, niente più tridacne giganti, niente più tartarughe. I coralli sono grigiastri. La maggior parte delle forme di vita rigogliose di un tempo è stata sostituita da alghe e sedimenti. Per quanto conosca scienziati anziani che raccontano storie strazianti del degrado subito da una certa barriera corallina nel corso della loro carriera, mi sento troppo giovane per testimoniare un cambiamento così allarmante; sono trascorsi solo dieci anni dall'ultima volta. Non dovrei avere un'esperienza del genere alla fine della mia vita lavorativa, anziché all'inizio?

I sommozzatori fissano alla barriera i frammenti di nuovi coralli allevati sulla costa al Mote Marine Laboratory in modo che possano crescere e popolare il reef; è una strategia simile a quella della riforestazione sulla terraferma.

Questa scoperta sconvolgente è avvenuta nel 2014, con l'inizio del terzo evento globale di sbiancamento di massa (detto anche *bleaching*). I coralli, spesso confusi con rocce, sono costituiti di tessuto animale vivente che contiene alghe microscopiche, fonte per l'organismo di nutrimento e di colore. Quando l'aumento della temperatura dell'oceano stressa eccessivamente i coralli, questi ultimi espellono le alghe; di conseguenza il tessuto si sbianca e diventa vulnerabile alle malattie e alla mancanza di cibo. Questo evento di sbiancamento di massa è durato tre anni, distruggendo i reef e spezzando cuori in tutto il mondo. Sebbene i coralli siano minacciati dall'eccesso di pesca, dall'inquinamento e dall'acidificazione degli oceani, oggi la principale preoccupazione è legata alla rapidità e all'estensione dei danni dovuti all'aumento delle temperature.

I primi eventi di sbiancamento di portata globale si sono verificati nel 1998 e nel 2010, innescati da un riscaldamento dei mari legato alle condizioni di el Niño. L'evento del 2014-2017 è però stato di gran lunga il più duraturo e il più esteso, avendo danneggiato oltre il 70 per cento delle barriere coralline di tutto il mondo. Due terzi del Great Barrier Reef australiano sono stati dichiarati morti o gravemente danneggiati, e gli effetti devastanti continuano ancora oggi. Le barriere coralline stanno letteralmente scomparendo davanti ai nostri occhi; negli ultimi trent'anni abbiamo perso globalmente circa il 50 per cento dei coralli e i ricercatori stimano che solo il 10 per cento dei restanti riuscirà a sopravvivere oltre il 2050. Abbiamo bisogno di soluzioni, e alla svelta.

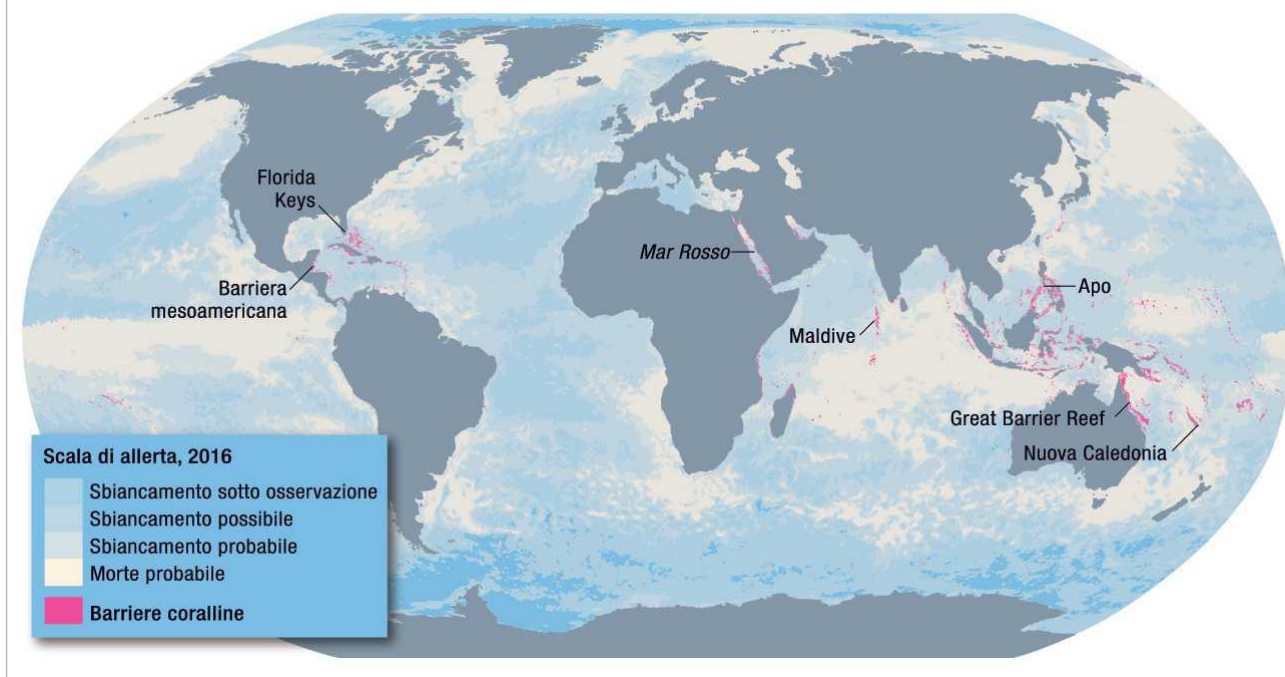
Sebbene i reef ricoprano solo lo 0,1 per cento del fondo degli oceani, sostengono quasi il 25 per cento di tutte le specie marine, compresi i pesci che nutrono milioni di persone nel mondo. Costituiscono inoltre un argine naturale che protegge le aree costiere, riducendo l'energia delle onde fino al 97 per cento e abbassandone l'altezza fino all'84 per cento. Senza contare le ricadute sul turismo: se perdiamo le barriere coralline, ne risentirà il reddito di 500 milioni di persone, per una cifra complessiva di oltre 30 miliardi di dollari. E anche in assenza di benefici diretti provenienti dalle barriere coralline la loro distruzione colpisce molte persone. Come dice il mio collega Luiz Rocha, della California Academy of Sciences: «Potrei anche non vedere la Gioconda in tutta la mia vita, ma sicuramente non vorrei che finisse bruciata».

Spinti dall'urgenza, gli scienziati cercano modi sempre più creativi e coraggiosi di preservare e ricostituire gli ecosistemi dei reef. Sono alla ricerca di tecniche scalabili che non distruggano i banchi di coralli. Al momento l'interesse si concentra su una manciata di opzioni strettamente legate le une alle altre e integrabili,

Pagine precedenti: Getty Images; questa pagina: cortesia Joe Berg Way Down Video

Il peggiore sbiancamento di tutti i tempi

Dal 2014 al 2017, senza sosta, il riscaldamento dell'acqua degli oceani ha causato il più esteso evento di sbiancamento dei coralli mai registrato. È stato danneggiato oltre il 70 per cento delle barriere coralline della Terra; nel solo 2016 (*mappa*), il globo è stato afflitto da numerosi eventi critici. L'acqua calda causa l'uscita delle alghe dai tessuti dei coralli, privandoli della propria riserva di cibo e portandoli a un forte indebolimento o addirittura alla morte.

Fonte: NOAA Satellite and Information Service

che prevedono sia processi naturali sia l'intervento dell'uomo. Si tratta di azioni che, intraprese insieme, potrebbero dare ai coralli l'auspicata possibilità di sopravvivere ai prossimi decenni, periodo dopo il quale, si spera, il mondo avrà ridotto drasticamente le emissioni e il riscaldamento globale rallenterà.

Spesso mi viene chiesto: le barriere coralline sopravviveranno? Penso che la risposta sia che si tratta di organismi resilienti, che potrebbero imparare a cavarsela, ma che hanno bisogno di spazio per respirare, e ne hanno bisogno ora.

Riportare i coralli in salute

Se vi capitasse di fare un'immersione a circa 8 chilometri dalle coste della Florida, potreste imbattervi in una delle tante foreste sottomarine di alberi di plastica ai cui rami sono appesi coralli, come le decorazioni di un albero di Natale. I ricercatori stanno usando vivai sopra e sotto il mare per far crescere coralli che possano essere trapiantati, o per meglio dire espiantati, in barriere coralline degradate. I vivai sfruttano il fatto che tutti i coralli possono riprodursi sia per via sessuata sia per via asessuata. I coralli sono organismi modulari: si tratta di animali costituiti di centinaia o migliaia di polipi geneticamente identici, tutti cloni uno dell'altro. Possono riprodursi per via sessuata, creando uova e spermatozoi che danno origine a larve, oppure asessuata, quando da un polipo se ne forma un altro per gemmazione.

Quando un corallo è danneggiato da una tempesta, capita che una parte della colonia si stacchi, rotoli via e, alla fine, si riattacchi sul fondo, continuando a crescere per clonazione. I professionisti al lavoro nei vivai, quindi, possono frammentare i coralli intenzionalmente per avere cloni geneticamente identici. Oggi in tutto il mondo sono allevate con successo quasi 90 specie di coralli. Professionisti nei Caraibi e nell'Atlantico occidentale allevano e trapiantano ogni anno, nelle parti danneggiate del reef, decine di migliaia di coralli, spesso con l'aiuto di donazioni private, finanziamenti pubblici o progetti di ripristino governativi.

Oggi gli scienziati cercano di intensificare quest'opera di ripristino. Di recente Dave Vaughan, del Mote Marine Laboratory, in Florida, ha scoperto che grazie a una reazione naturale di guarigione i coralli spezzettati in minuscoli «microframmenti», delle dimensioni di una gomma da cancellare, possono crescere da 25 a 50 volte più velocemente dei coralli presenti in natura. Pezzi con lo stesso corredo genetico (che hanno cioè lo stesso genitore) posti a pochi centimetri di distanza tendono a rifondersi in una colonia più grande. In qualche mese il gruppo di Vaughan può far crescere coralli della dimensione di un pallone da calcio che in natura avrebbero impiegato anni.

Quando Vaughan iniziò questo lavoro, 12 anni fa, usando tecniche più antiquate, produsse 600 coralli in sei anni. Oggi il suo gruppo produce 600 coralli in un pomeriggio, e hanno avuto successo con tutte le cinque o sei specie con cui hanno provato. Vaughan intende produrre ed espiantare 50.000 coralli quest'anno e 100.000 il prossimo. Ha giurato di non andare in pensione prima di averne piantati un milione. All'inizio, il costo di ogni corallo era di circa 1000 dollari; con una tecnologia e un'efficienza migliori, oggi il suo gruppo opera a meno di 20 dollari per corallo. Con l'aiuto di volontari e di biologi amatoriali, Vaughan è convinto di abbattere i costi a due dollari per corallo: un dollaro per far-

lo riprodurre, uno per piantarlo. Anche se secondo il National Marine Fisheries Service statunitense per rimettere in sesto i coralli *Acropora cervicornis* e *Acropora palmata* danneggiati nei Caraibi saranno necessari 400 anni e 255 milioni di dollari, l'obiettivo di Vaughan è rimuoverli dalla lista delle specie minacciate nel corso della sua vita.

Oggi siamo diventati molto bravi a far crescere i coralli e in molti casi riusciamo a riportare i reef all'estensione e funzionalità iniziali. Tutto questo però è vero solo a livello locale: da qui al livello di ecosistema il salto è enorme. Una delle sfide più ardue consiste nell'arrivarci in modo significativo. La maggior parte dei tentativi si limita ad aree di meno di un ettaro, mentre il degrado delle barriere coralline si verifica su centinaia o migliaia di chilometri quadrati. Si stima che i costi necessari per ripiantare un'area delle dimensioni del Great Barrier Reef australiano usando frammenti da 5 dollari l'uno siano di quasi 200 miliardi di dollari. Ma potrebbe valere la pena pagare un prezzo del genere, perché il recupero del reef riporterebbe in vita riserve ittiche che nutrono molte persone, creerebbe numerosi posti di lavoro e proteggerebbe dalle tempeste importanti regioni e comunità costiere.

Le uova e gli spermatozoi del corallo *Acropora palmata* sono prelevati sott'acqua (*1*) e indirizzati in una provetta (*2*). In laboratorio i ricercatori combinano i gameti con quelli di altri coralli per creare nuove varietà, aumentando la diversità genetica, il che a sua volta migliora la resilienza agli stress della vita nell'oceano.

Cortesia Paul Selvaggio/SECORE International

Il sesso dei coralli

Oltre a far riprodurre i coralli per via asessuata nei vivai, gli scienziati riescono sempre meglio ad aiutarli a riprodursi per via sessuata, procedimento che amplia la variabilità genetica. Al declino delle popolazioni si accompagna una perdita di diversità genetica che a sua volta provoca una riduzione della resistenza dei coralli al riscaldamento dell'acqua. Molte barriere coralline caraibiche, per esempio, sono dominate da un singolo clone e, come scienza e storia ci insegnano, affidarsi a una bassa variabilità genetica può portare alla rovina, soprattutto in epoche di cambiamenti ambientali. Nell'Ottocento, per esempio, la popolazione irlandese, all'epoca in fase di espansione, si nutriva di un unico clone della patata *Irish lumper*; quando la patata fu colpita da una malattia, il raccolto andò distrutto, le persone patirono la fame e l'economia dell'isola andò in rovina. Una maggior diversificazione dei raccolti sarebbe stata una scelta migliore. La variabilità genetica, come per le patate e le persone, anche nel caso dei coralli può aiutare a ridurre la sensibilità agli stress ambientali.

La riproduzione sessuata è il modo in cui la natura costruisce la diversità. I coralli sono fissati al fondo oceanico, quindi non possono andarsene in giro alla ricerca di un partner. Per riprodursi sessualmente, la maggior parte dei coralli libera uova e spermatozoi nella colonna d'acqua dove, incrociando le dita, avviene la fecondazione; nelle aree degradate, dove i coralli sono pochi e distanziati, le probabilità che ciò avvenga diventano sempre più basse.

Alla California Academy of Sciences abbiamo attivato una partnership con The Nature Conservancy e SECORE International (un ente internazionale dedicato alla conservazione) per guidare i coralli lungo questo difficoltoso procedimento. Oggi abbiamo le idee abbastanza chiare su quando le varie specie di coralli rilasciano uova e spermatozoi; succede dopo il tramonto, alla fine dell'estate, in una notte di Luna quasi piena (i coralli sono sorprendentemente romantici). In quelle notti ci immergiamo con reti per la raccolta e poi trasferiamo i gameti in laboratorio, dove li fecondiamo in secchielli pieni di acqua di mare. La larve risultanti hanno in genere le dimensioni di un seme di sesamo e corrono il rischio, in natura, di essere mangiate prima di riuscire a stabilirsi da qualche parte e iniziare a crescere; per questo motivo le alleviamo fino a quando non sono abbastanza grandi e forti da essere espiantate nel reef. L'obiettivo non è di ripiantare intere barriere, bensì di massimizzare la variabilità genetica e, di conseguenza, far aumentare la popolazione fino al punto in cui il reef possa poi ricostituirsi naturalmente e sia più resiliente nei confronti dei cambiamenti ambientali.

Molte barriere coralline hanno una bassa diversità genetica, il che impedisce loro di far nascere baby coralli. Mettendo insieme tecniche di recupero tramite riproduzione sessuata e asessuata possiamo recuperare un reef fino al punto in cui può ricostruire da solo tratti di barriera corallina sani. Il nostro scopo è creare qualcosa che abbia una vita che va oltre la propria.

In natura sopravvive solo un baby corallo su un milione; stiamo facendo tutto ciò che possiamo per aiutare queste creature nelle prime fasi di vita, le più vulnerabili. Al momento riusciamo a fecondare coralli in laboratorio con un successo del 100 per cento, o poco meno, per poi inserire le larve su supporti che possono essere espiantati, incrementando il numero di individui sessualmente compatibili che in futuro potranno contribuire a migliorare la riproduzione, senza il nostro aiuto. L'anno scorso, in un evento di deposizione delle uova a Curaçao, nei Caraibi, ho aiutato un gruppo a raccogliere 5 milioni di uova in soli due giorni da 25 colonie: per SECORE è un nuovo record che, come dice il suo fondatore Dirk Petersen, «dimostra la scala a cui possiamo operare».

Uno degli ostacoli principali è mantenere in vita i baby coralli dopo averli riportati in mare. A quel punto si trovano proprio nelle stesse condizioni di degrado che causano il declino dei coralli: fino a quando non avremo affrontato cambiamenti climatici, inquinamento e pesca eccessiva (mediante la consapevolezza, le politiche e cambiamenti radicali del nostro stile di vita), sostanzialmente stiamo solo mettendo una pezza, facendo guadagnare un po' di

Illustrazione di Rebecca Konte

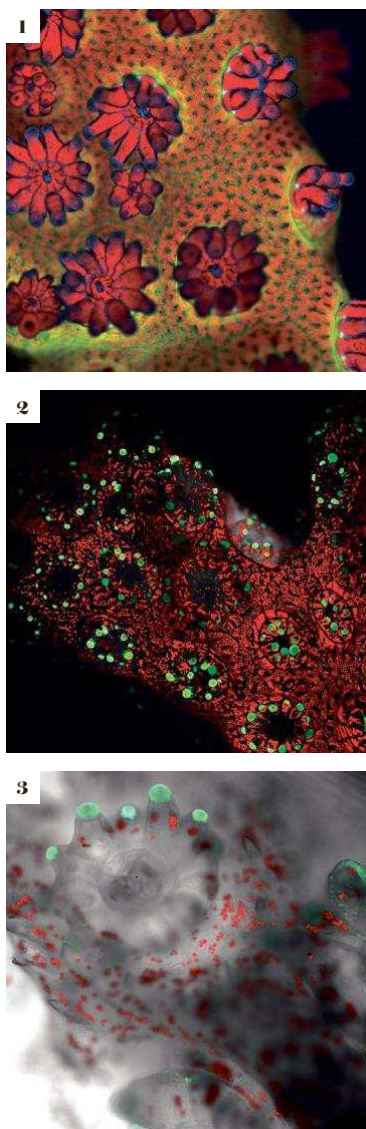
tempo alle barriere coralline. Lungo questa strada possiamo essere abbastanza fortunati da creare con la riproduzione sessuata genotipi clonabili in massa per via asessuata; sarà poi possibile espiantarli, lasciando che madre natura selezioni le specie da far prosperare.

Supercoralli

Non possiamo affidarci alla fortuna affinché questo diventi realtà. L'ambiente oceanico sta cambiando troppo velocemente perché molti coralli riescano ad adattarsi naturalmente, dunque per accelerare il processo gli scienziati esplorano altre possibilità. Un approccio è la cosiddetta evoluzione assistita, che richiede di potenziare caratteristiche che migliorino la capacità dei coralli (e di altri organismi del reef) di tollerare gli stress e rimettersi in sesto dopo gli eventi di sbiancamento. L'evoluzione assistita che prevede un intervento umano è qualcosa che già fa parte della nostra vita quotidiana: la maggior parte dei cibi che compriamo è stata selezionata o modificata in qualche modo (per esempio i pomodori resistenti alle malattie); gli animali domestici sono stati selezionati per favorire certi tratti estetici o della personalità. Perché, allora, non selezionare e migliorare i coralli per renderli resistenti ai cambiamenti climatici?

Ruth Gates, dell'Hawaii Institute of Marine Biology, e Madeleine van Oppen, dell'Australian Institute of Marine Science, collaborano per migliorare la resistenza dei coralli agli stress. Gates li allena mettendoli su «*tapis roulant* ambientali»; esporre certi coralli a temperature quasi letali in laboratorio può spingerli ad attivare geni che li aiutano a gestire stress termici più intensi nel lungo periodo. Questo processo, detto modulazione epigenetica, può essere ancora più utile se i coralli allenati sono trapiantati nelle barriere, dove possono trasferire questa capacità ai discendenti, creando una generazione di «supercoralli». In teoria, la modulazione epigenetica potrebbe migliorare la capacità dei coralli di resistere allo sbiancamento.

Stiamo solo iniziando a capire questo processo; i primi test di laboratorio sono promettenti, ma bisogna ancora effettuare le sperimentazioni sul campo che, una volta eseguite, riveleranno se i coralli trapiantati effettivamente trasferiscono le capacità migliorate alle generazioni successive, se l'approccio è riproducibile su scale più ampie, e a quali costi, e se esistono rischi intrinseci.

Van Oppen esplora invece la selezione artificiale. In ogni specie c'è un certo grado di variabilità genetica, dunque alcune sono più o meno resistenti allo sbiancamento o alle malattie. Come gli allevatori cercano di ottimizzare le caratteristiche desiderate degli animali, se anche noi riuscissimo a identificare le colonie di corallo più resistenti e le allevassimo per produrre discendenti più resistenti, via via che i geni coinvolti nel processo sono trasmessi di generazione in generazione potremmo migliorare la resistenza termica di una barriera corallina.

Le alghe (*in rosso*) nutrono un corallo del genere *Pocillopora* in buona salute (*1*). L'aumento delle temperature le allontana (*2*), finché il corallo sbianca (*3*), privato degli zuccheri di cui si alimenta. (I punti verdi sono proteine). Gli scienziati sperano di sviluppare alghe tolleranti al calore, che non abbandonino i coralli.

Allevare artificialmente i coralli è difficile, perché possono impiegare anche dieci anni a raggiungere la maturazione completa; lo stesso motivo rende arduo l'adattamento climatico. Microbi e alghe che vivono in simbiosi con i coralli, invece, in genere maturano velocemente e possono avere un'influenza enorme sul benessere di questi ultimi. Di conseguenza cerchiamo di manipolare questi organismi con la selezione artificiale, in modo da migliorare la salute del corallo. Negli ultimi anni gli scienziati hanno capito che il nostro microbioma (le comunità di batteri che vivono nel nostro corpo) influisce sulla salute, in positivo e in negativo; oggi i probiotici sono disponibili quasi ovunque, dallo yogurt al tè Kombucha, o addirittura al cioccolato, con la pretesa di aiutare la digestione, il sistema immunitario e la salute generale.

Van Oppen sta sviluppando in laboratorio ceppi di alghe che inocula nei baby coralli per vedere se conferiranno loro una miglior tolleranza termica. Insieme a Gates sta anche provando a capire se modulazione epigenetica, selezione artificiale e manipolazioni del microbioma possono essere ancora più efficaci quando operate insieme sullo stesso corallo.

La maggior parte delle tecniche che testiamo è ancora agli inizi, ma ci sono prove a favore del fatto che potrebbero essere combinate per ottenere successi ancora maggiori. L'approccio potrebbe essere il seguente: prima, usare la riproduzione per via sessuata e l'evoluzione assistita per generare tra le popolazioni di coralli una diversità nuova e più grande, così da creare individui più resistenti agli stress; poi, produrre in massa individui del genere nei vivai con tecniche di riproduzione asessuata ed espiantarli poi sul reef.

È qualcosa che potrebbe succedere a breve? Non proprio. Alcune tecniche, come la selezione artificiale, sono disponibili, poco costose ed efficaci, ma è necessario lavorare ancora su fattibilità e scalabilità di altre tecniche, e valutare i rischi di conseguenze ecologiche impreviste. È possibile, per esempio, che organismi potenziati artificialmente abbiano caratteristiche nuove che permettono di sopraffare le popolazioni native, anziché di integrarsi con loro; questo metterebbe a rischio il nostro obiettivo: aiutare le barriere coralline a prosperare.

Congelati per uso futuro

Che la tecnica usata per migliorare i coralli sia una sola o una combinazione di vari metodi, c'è un passaggio di importanza vitale: preservare spermatozoi, uova, larve e frammenti di corallo in qualcosa di analogo alle banche dei semi usate da molti anni da-

Cortesia Amy Eggers (*1*); cortesia Amy Eggers, Katie Barott e Mindy Mizobe (*2*,*3*)

Un ricercatore controlla i coralli trapiantati in una baia circostante il Gates Coral Lab per osservare gli effetti provocati dall'acidificazione dell'acqua dell'oceano, un altro fattore di stress imposto dai cambiamenti climatici.

Cortesia theoceanagency.org

gli agronomi per aiutare i raccolti nella crescita, nella resistenza alle malattie e nella tolleranza alla siccità. Le banche permettono di estrarre frammenti biologici più o meno grandi a seconda delle necessità per migliorare ancora resilienza e diversità genetica.

Prendendo esempio dalla fecondazione in vitro umana, Mary Hagedorn, dello Smithsonian Conservation Biology Institute, ha creato il primo registro delle specie di coralli a rischio di estinzione. Nella fecondazione in vitro, gli ovuli o gli spermatozoi sono raffreddati con azoto liquido a temperature bassissime; gli ovuli possono essere poi scongelati, fecondati in laboratorio e trasferiti in utero quando hanno raggiunto lo stadio di embrioni. La crioconservazione, sviluppata originariamente per gli esseri umani, si è diffusa per aiutare specie in via di estinzione in tutto il mondo.

Il primo bambino generato da un ovulo crioconservato è nato alla fine degli anni novanta; qualche anno dopo, nel 2004, Hagedorn ha fondato il programma di crioconservazione dei coralli. Il suo gruppo ha ideato un sistema di congelamento applicabile a un ampio ventaglio di specie di coralli e finora ha depositato 16 specie provenienti da tutto il mondo (il 2 per cento delle 800 che, secondo le stime, esistono sulla Terra). Gli spermatozoi scongelati hanno un tasso di fecondità pari a quello degli spermatozoi appena prodotti, e gli embrioni risultanti si sviluppano normalmente in giovani organismi in buona salute.

Hagedorn ha distribuito questo germoplasma (tessuto vivente) in banche di diversi paesi; in teoria, il germoplasma potrebbe restare congelato e in vita per centinaia o addirittura migliaia di anni. Le cellule germinali potrebbero poi essere scongelate e usate in programmi di allevamento in natura e in cattività. Gli spermatozoi congelati, per esempio, potrebbero fecondare uova provenienti da luoghi normalmente irraggiungibili, introducendo così nuovi geni nel pool genico del corallo. Senza contare che, ovviamente, le banche possono conservare specie che, nel caso di collasso della barriera corallina, rischierebbero di declinare o scomparire.

Nel corso dei prossimi due anni Hagedorn spera di crioconservare le uova (oltre agli spermatozoi) e le larve, per poi passare a interi microframmenti. Inoltre sta sviluppando tecniche di crioconservazione dei testicoli dei pesci che popolano la barriera corallina, per aiutare a mantenerne la biodiversità. La ricercatrice immagina un futuro in cui i germoplasmi dei coralli e di altri organismi del reef a rischio di estinzione saranno depositati in luoghi ad alta sicurezza, dove saranno disponibili uova, spermatozoi ed embrioni per ampliare la diversità genetica e ricostituire le barriere coralline. «Non abbiamo idea di ciò di cui la scienza sarà capace fra cent'anni», afferma Hagedorn.

Qual è il prossimo passo? Sebbene alcune soluzioni possano sembrare troppo innovative per gli standard attuali, dobbiamo investire in strategie per il futuro. Molte di queste tecniche sono ancora da mettere alla prova, essendo oggi allo stadio di idea o di test di laboratorio, e restano aperte domande su scalabilità, costi e conseguenze ecologiche di una manipolazione delle barriere coralline. Non fare nulla, d'altronde, significa mettere in pericolo i coralli e le specie che a essi si appoggiano per sopravvivere.

Di sicuro per i problemi che affliggono le barriere coralline non c'è un'unica soluzione, valida per tutti i casi. Gli scienziati provano tutte le frecce al proprio arco pur di far guadagnare tempo ai reef: sebbene sia improbabile che una delle tecniche attuali possa salvare i coralli su scala globale, molte sono promettenti a livello locale o regionale. Le barriere coralline di domani potranno non somigliare a quelle di oggi, ma potranno ancora fornire materia e servizi importanti a ecosistemi e persone. Cambiamento climatico, inquinamento ed eccesso di pesca sono le sfide principali: dobbiamo affrontarle collettivamente per proteggere gli oceani nel loro complesso e dare alle barriere coralline quel po' di respiro di cui necessitano per sopravvivere. ■

PER APPROFONDIRE

Global Warming and Recurrent Mass Bleaching of Corals. Hughes T.P. e altri, in «Nature», Vol. 543, pp. 373-377, 16 marzo 2017.

Iniziativa dedicata alle barriere coralline della California Academy of Sciences: **www.calacademy.org/explore-science/hope-for-reefs.**

Programma sui microframmenti del Mote Marine Laboratory: **https://mote.org/research/program/coral-reef-restoration.**

Programma di conservazione dei coralli di SECORE International: **www.secore.org.**

PSICOLOGIA
L'abisso
tossico della
solitu

L'isolamento può essere all'origine di varie malattie e persino di morte prematura. Nuove ricerche studiano cause e soluzioni al problema della carenza di contatti sociali

di Francine Russo

dine

IN BREVE

I risultati di molti studi in campi diversissimi come l'epidemiologia e la genetica hanno iniziato a mostrare un collegamento tra la solitudine e la vulnerabilità a varie malattie fisiche e psicologiche, che vanno dalla depressione al declino cognitivo, ai problemi cardiocircolatori.

La ricerca sulla solitudine si concentra sui giovani, gli anziani e in generale chi ha una visione negativa di sé. Spesso i bambini si sentono soli perché le loro competenze sociali sono inadeguate, mentre per gli anziani la causa può essere la perdita delle persone amate.

Gli interventi per dissipare il senso assillante di solitudine hanno avuto successo in tutte le fasce d'età quando hanno ridotto i pensieri negativi. Per gli anziani si sono rivelati utili anche la meditazione mindfulness, l'uso di Skype e persino la vicinanza di robot da compagnia.

Francine Russo è una giornalista specializzata in psicologia e scienze comportamentali. Tiene anche conferenze e seminari e ha scritto il libro *They're Your Parents, Too! How Siblings Can Survive Their Parents Aging Without Driving Each Other Crazy* (Bantam Books, 2010).

Carrie Aulenbacher è cresciuta in una zona rurale della Pennsylvania, in dolorosa solitudine. Oggi, a 39 anni, benché abbia un marito che la ama e diversi amici, continua a combattere contro una sensazione di isolamento. Alle superiori aveva paura ad avvicinarsi alle altre ragazze. Non sapeva che cosa dire e temeva che le si rivoltassero contro. Oggi non smette di dubitare di se stessa e di giudicarsi. Nel corso degli anni è cresciuta e cambiata sotto molti punti di vista, ma la sua solitudine rimane. «Impariamo a muoverci nel mondo e ad aprirci agli altri – dice tra le lacrime – ma la solitudine fa schifo».

Solitudini come quella di Carrie hanno iniziato ad attirare molta attenzione nel mondo scientifico. Dalla psicologia all'epidemiologia, fino alla biologia evolutiva, i ricercatori stanno studiando la natura dei diversi tipi di solitudine, i loro meccanismi biologici e i loro effetti sulla mente e sul corpo.

Prove sempre maggiori collegano la solitudine a una marcata vulnerabilità a una serie di malattie fisiche e psicologiche, dalla depressione al declino cognitivo e dai problemi cardiaci all'ictus. Una meta-analisi condotta dalla psicologa Julianne Holt-Lunstad della Brigham Young University e colleghi nel 2015 (su studi effettuati tra il 1980 e il 2014) ha trovato che la solitudine era associata a un aumento della probabilità di morte prematura persino maggiore di quello associato all'obesità. Nel 2017, rivedendo i dati disponibili, Holt-Lunstad e colleghi hanno concluso che la scarsità di rapporti sociali, derivata non solo da un senso di solitudine ma anche dall'isolamento sociale e da relazioni di bassa qualità, è un importante problema di salute pubblica.

Ma quanto siamo soli? Alcuni ricercatori, come Holt-Lunstad, citano indicatori di una crescita dell'isolamento sociale, che può causare solitudine: ci sono più individui che vivono da soli, meno matrimoni, meno bambini, meno partecipazione al volontariato e meno persone che frequentano gruppi religiosi. In uno studio condotto nel 2006 dalla Duke University, il numero di statunitensi che affermava di non avere amici intimi era triplicato tra il 1985 e il 2004. Ma altre statistiche dipingono un quadro diverso: secondo il sociologo Keming Yang, dell'Università di Durham, nel regno Unito, che ha analizzato i dati europei tra il 2006 e il 2014, la sensazione soggettiva di solitudine tra gli adulti sarebbe «abbastanza stabile» al 7-10 per cento circa in Europa e «piuttosto stabile al 5-6 per cento» nel Regno Unito.

Che la solitudine sia in aumento o meno (e questo dipende in parte da che cosa si misura), il collegamento con i problemi di salute ha fatto nascere ovunque il desiderio di trovare modi per ridurla. Nel 2011, la principessa Mary di Danimarca ha lanciato un programma nazionale per ridurre la solitudine. Negli Stati Uniti, l'associazione di pensionati AARP sovvenziona diversi programmi per la riduzione della solitudine rivolti agli anziani. AGE UK, un gruppo simile con sede a Londra, ha fatto partire nel 2011 la «Campagna per mettere fine alla solitudine», studiando interventi dedicati agli anziani. Nel 2016 il documentario della BBC *The Age of Loneliness* ha messo l'accento sulla «epidemia di solitudine» trasformando l'argomento in una priorità nazionale. «Il messaggio è stato lanciato», commenta la geriatra Christina Victor, della Brunel University di Londra. «Se tutti andassero a trovarla, la nonna non avrebbe bisogno di finire all'ospedale».

Che cos'è di preciso?

Tutti ci siamo sentiti «soli» prima o poi, ma per la maggior parte di noi è una sensazione che dipende dalla nostra situazione e da come la consideriamo. La solitudine è definita come la percezione di un isolamento sociale e l'esperienza di essere separati dagli altri.

Nella maggior parte delle persone che ne soffrono, può cambiare quando cambia lo stato in cui si trovano, per esempio quando si stringono nuove amicizie o magari si inizia un nuovo rapporto sentimentale. Le persone che i ricercatori definiscono affette da «solitudine cronica» provano invece un isolamento profondo per lunghi periodi, indipendentemente dalle circostanze.

Ciò che provano è diverso dalla depressione, dall'ansia sociale o dalla timidezza, anche se queste condizioni spesso si sovrappongono alla solitudine cronica. Secondo lo psicologo Kenneth Rotenberg della Keele University in Inghilterra, gli studi dimostrano che chi è affetto da solitudine cronica ha maggiori probabilità di presentare uno stile disfunzionale nell'elaborazione delle informazioni sociali (ipervigilanza nei confronti delle minacce sociali), problemi psicologici (depressione) e disadattamento interpersonale (ritiro sociale).

L'isolamento sociale, che può portare alla solitudine, si può misurare obiettivamente considerando fattori come vivere da soli, far parte di pochi gruppi sociali e avere pochi vicini. Alcuni di coloro che sono socialmente isolati possono essere perfettamente contenti. Altri che non sono affatto isolati in termini oggettivi, per esempio persone sposate e con molti amici, possono sentirsi profondamente soli. Sia la solitudine che l'isolamento sociale sono stati collegati a un aumento dei rischi per la salute, anche se probabilmente per ragioni diverse: la solitudine può portare alla depressione, che è stata collegata a comportamenti meno salutari, mentre per le persone socialmente isolate, spiega Holt-Lunstad, «magari non c'è nessuno che ti ricordi di prendere le medicine, o che chiami il 112».

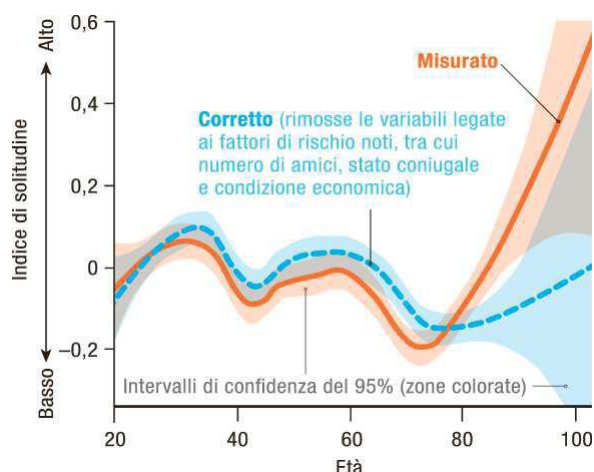
Non esistono dati certi per determinare quante siano le persone che soffrono sia di isolamento sociale che di solitudine, e se que-

Illustrazioni di Bryan Christie Design (*pagine precedenti*)

VARIAZIONI NEL TEMPO

Questioni di età

La solitudine aumenta temporaneamente tra i 30 e i 60 anni, e nuovamente negli anziani più avanti con gli anni. Quando i ricercatori hanno corretto i dati in base al numero di amici, allo stato coniugale e ad altre variabili sociali (*linea in blu*), le oscillazioni della solitudine nel corso della vita sono rimaste inalterate nelle misure considerate fino all'età avanzata, dove sono variate meno nettamente (*linea in rosso*). La precisione della stima diminuisce nei più anziani, come dimostra l'ampliamento delle zone colorate (intervalli di confidenza), il che suggerisce che il grado di solitudine possa variare da persona a persona in quella fascia di età.

Fonte: Luhmann M. e Hawkley L.c., *Age Differences in Loneliness From Late Adolescence To Oldest Old Age*, in «Developmental Psychology», Vol. 52, giugno 2016.

sto sottogruppo sia esposto a un rischio maggiore. Holt-Lunstad stima che la sovrapposizione sia tra il 20 e il 40 per cento.

Parte del problema nella letteratura scientifica consiste nel fatto che gli strumenti standard per misurare la solitudine non prendono sempre in considerazione le stesse cose. La scala De Jong Gierveld, spesso usata nelle indagini di grandi dimensioni in Europa, misura sia la solitudine sia l'isolamento sociale, ma non la loro durata.

Lo strumento più usato per misurare la solitudine, la versione rivista della scala UCLA, valuta l'insoddisfazione percepita dell'individuo per la qualità o la quantità delle sue relazioni. I soggetti valutano, per esempio, quanto spesso si sentono vicini agli altri, sentono la mancanza di compagnia o si sentono timidi o soli. È una misura principalmente cognitiva, che esamina l'autopercezione e altri fattori invece di investigare a fondo la sensazione di solitudine in sé. Per qualcuno, sostiene Rotenberg, «l'esperienza emotiva della solitudine, quando ti senti un nodo allo stomaco, può essere davvero brutale, e se persiste può indebolire la salute mentale».

Le ricerche classiche

È dalla metà del XX secolo che gli psicologi si concentrano sulla solitudine come una cosa separata dalla depressione o da altri disturbi psichici, spesso avanzando teorie che in seguito sono state accantonate. In un articolo del 1959 la psicoanalista tedesca Frieda Fromm-Reichmann faceva riferimento all'«orrore puro» della solitudine e teorizzava che derivasse da uno svezzamento troppo precoce. Negli anni settanta e ottanta, con l'intensificarsi della ricerca, alcuni scienziati hanno ipotizzato che la causa principale fosse non far parte di una rete sociale o di una comunità che ci accetti completamente. Altri si sono concentrati sulla cognizione, il modo negativo e non realistico in cui le persone sole vedono se stesse e gli altri.

Più recentemente il neuroscienziato John Cacioppo, dell'Università di Chicago, ha proposto una teoria influente, ipotizzando che la solitudine abbia una funzione evolutiva.

Quando qualcuno si sente escluso da un gruppo sociale, si sente meno protetto dalle minacce esterne al gruppo, per esempio da chi si considera nemico. Secondo la teoria evolutiva di Cacioppo il dolore della solitudine fa scattare sia una spinta a tenersi in contatto con gli altri, detta motivazione alla riaffiliazione (RAM, *reaffiliation motive*), sia un'ipervigilanza nei confronti delle minacce sociali e ad altri cambiamenti neurali che incrementano lo stress. Questi meccanismi non sarebbero un'esclusiva della specie umana e sarebbero utili alla sopravvivenza.

Nella vita quotidiana, spiega Pamela Qualter psicologa della University of Central Lancashire, nel Regno Unito, una persona diventa silenziosa o si ritira dentro se stessa per osservare la realtà sociale e poi cerca modi di rientrare in contatto con gli altri. «Diciamo che sono a una festa – spiega – dove non conosco bene nessuno. Mi sento insicura e sola. Allora osservo la situazione e provo a identificare le persone con cui potrei entrare in contatto e quelle che preferirei evitare».

Stephanie Cacioppo, neuroscienziata dell'Università di Chicago, che studia la solitudine assieme al marito John, dice che in genere le persone trovano il modo di creare un contatto. Ma quando gli sforzi per recuperare i rapporti sociali o crearne di nuovi falliscono ripetutamente, le persone potrebbero rimanere in uno stato di ipervigilanza che affatica il corpo e il cervello. La mente di un individuo simile, spiega, è sempre all'erta, alla ricerca di minacce prima ancora di incontrarne. Ma questa reazione è spesso controproducente, a causa della difficoltà di distinguere una minaccia vera da un segnale sociale ambiguo.

Quanto soli?

È ormai chiaro che le persone tendono a essere più colpite dalla solitudine in determinati periodi della vita, il che ha permesso di concentrare sempre più le ricerche su due fasce d'età: i giovani (sotto i 30 anni) e gli anziani (sopra i 60).

L'esigenza di concentrare gli sforzi sulle due estremità dello spettro emerge da diversi risultati. In uno studio del 2012 su 2393 soggetti britannici tra i 15 e i 97 anni, Victor, della Brunel University di Londra, e Yang, dell'Universitò di Durham, hanno riferito che i livelli più alti di solitudine si verificavano prima dei 25 e dopo i 65 anni. Allo stesso modo, un ampio studio sulla popolazione tedesca pubblicato nel 2016 da Maike Luhmann dell'Università di Colonia e Louis C. Hawkley dell'Università di Chicago ha rilevato che a patire di più la solitudine erano le persone sotto i 30 e sopra gli 80 anni (*si veda il box in alto*).

Secondo Luhmann e Hawkley, gli studi basati sulla sensazione delle persone sono influenzati da ciò che è considerato «normale» in ciascuna fase della vita. Varie ricerche, per esempio, hanno trovato che essere sposati o convivere con qualcuno protegge dalla solitudine, ma questo fattore potrebbe avere un peso minore nei giovani, che non si aspettano ancora di essere sposati, o negli anziani, tra i quali è comune la vedovanza. Avere un lavoro può fare una differenza enorme per gli adulti di mezza età, ma è me-

no importante tra gli anziani che hanno scelto di andare in pensione. Invece, alcuni fattori abbastanza facili da prevedere – come l'impegno sociale, il numero di amici e la frequenza dei contatti – sembrano essere indicatori universali di solitudine a qualsiasi età.

Perché i bambini si sentono soli?

Le ricerche prestano maggiore attenzione ai bambini e agli adolescenti a causa dell'effetto duraturo che la solitudine può avere sul resto della vita. Studi scientifici hanno dimostrato che può portare alla depressione, e che i bambini solitari corrono un rischio maggiore di diventare adolescenti e adulti soli e depressi. Uno studio condotto nel Regno Unito nel 2010 su circa 300 bambini tra i 5 e i 13 anni ha scoperto che quelli che si sentivano soli avevano più probabilità di soffrire di depressione da adolescenti.

Alcuni dei bambini esaminati in quello studio si sentivano soli nei loro rapporti con i genitori, altri in relazione ai compagni. Il lavoro di Marlies Maes, psicologa dell'Università Cattolica di Lovanio, in Belgio, e colleghi, mostra che gli adolescenti che si sentivano soli con i coetanei ma non con i genitori erano visti come più timidi e avevano maggiori probabilità di essere identificati come vittime di bullismo.

Alcuni bambini si sentono soli perché hanno competenze sociali inadeguate. Uno studio del 2016 ha chiesto a 1342 adolescenti di valutare se stessi e i propri compagni di classe sulle rispettive capacità di relazionarsi con gli altri. Paragonando l'autovalutazione dei soggetti con la valutazione fatta dai compagni – spiega l'autrice principale, Gerine M.A. Lodder, esperta di scienze comportamentali dell'Università di Groninga, nei Paesi Bassi – i ricercatori hanno scoperto che i ragazzi che soffrivano di solitudine si dividevano in due gruppi. Quelli sulla cui carenza di competenze sociali erano d'accordo anche i compagni probabilmente erano davvero carenti, ma erano anche probabilmente capaci di cambiare. I rapporti umani richiedono capacità sociali diverse, dice Steven Asher psicologo dello sviluppo della Duke University, tra cui prendere l'iniziativa di creare un contatto sociale, essere un partner affidabile e saper risolvere i conflitti. Sebbene alcuni bambini siano meno bravi di altri in questi compiti, hanno il potenziale per imparare a migliorare le proprie interazioni e diventare meno soli.

Gli adolescenti che soffrono di solitudine cronica possono sentirsi soli anche quando partecipano ad attività di gruppo

I bambini dell'altro gruppo esaminato da Lodder e colleghi avevano una visione completamente negativa di se stessi, del proprio ambiente sociale e delle proprie relazioni, e per questo potevano aver bisogno di un approccio diverso. «Non esiste una soluzione che vada bene per tutti», afferma Lodder.

Molti bambini profondamente soli hanno buone competenze sociali. Qualter ha osservato un gruppo di ragazzi tra gli 8 e i 14 anni che interagivano in un'area giochi e altrove e ha riferito che i più soli si comportavano praticamente come gli altri, ma interpretavano le interazioni in modo diverso.

La psicologa ha osservato la stessa cosa tra gli studenti universitari: con un amico intimo sembrano comportarsi come tutti gli altri, ma in seguito, spiega, dicono di aver «parlato troppo» oppure «troppo poco». In media, sottovalutano la propria prestazione.

I risultati di questi studi su bambini e adolescenti si accordano bene con il modello della RAM difettosa e dell'ipervigilanza intensa sviluppato da John Cacioppo. Molti hanno rilevato che i bambini e i giovani adulti profondamente soli reagiscono diversamente a immagini e situazioni di inclusione ed esclusione sociale.

Uno studio condotto nel 2015 su 730 adolescenti da Janne Vanhalst, psicologa dello sviluppo dell'Università Cattolica di Lovanio e della Research Foundation-Flanders di Bruxelles, indicava che i ragazzi affetti da solitudine cronica possono rimanere soli a causa delle proprie interpretazioni negative delle situazioni sociali. Sottoponendoli a un test con cadenza annuale per quattro anni, i ricercatori hanno scoperto che gli adolescenti che rimanevano soli rispondevano in modo più negativo agli scenari di esclusione sociale, per esempio non essere invitati a una festa.

È degno di nota però che rispondevano in modo meno entusiasta anche agli scenari di inclusione, come essere invitati a una festa, perché avevano più probabilità di attribuire l'invito a un senso di dovere dell'organizzatore che non al fatto di poter effettivamente piacere agli altri. «Sono meno contenti quando sono inclusi e più scontenti quando sono esclusi: è una doppia sfortuna» afferma Asher, che è stato uno dei coautori di questo studio.

Nel cercare le radici della solitudine nei giovani, un'idea è che possa essere causata o mantenuta dalla mancanza di fiducia. Nel 2010, alcuni studi condotti da Rotenberg e dai suoi colleghi tra ragazzi con problemi di mancanza di fiducia nelle fasce d'età 5-7, 9-11 e 18-21 hanno mostrato un aumento della solitudine in ciascuna fascia d'età nel tempo. In uno degli studi, i ricercatori chiedevano ai giovani adulti di imparare una serie di parole «di fiducia» o «di sfiducia» (per esempio «leale» contro «ipocrita») prima di interagire con un'altra persona in un contesto attentamente strutturato. È così emerso che i giovani «condizionati» alla fiducia avevano maggiori probabilità di scegliere di parlare di argomenti più personali e di riferire che si erano trovati bene con l'altra persona.

Differenze negli anziani

Le lezioni imparate dallo studio dei giovani si applicano tutte anche alle fasi successive della vita? Probabilmente no. In realtà gli anziani non sono davvero solitari, afferma Victor, che ha condotto ricerche sugli anziani con risultati che fanno piazza pulita di molti stereotipi. Eppure, continua, «in Gran Bretagna è considerato normale che gli anziani siano soli».

In uno studio condotto insieme ai colleghi tra il 2000 e il 2008 su quasi 1000 persone sopra i 65 anni, la geriatra ha rilevato che il 9 per cento dei partecipanti riferiva una solitudine profonda (misurata con la scala De Jong Gierveld), il 30 per cento riferiva di sentirsi solo qualche volta e un notevole 61 per cento affermava che non si sentiva mai solo. I livelli più alti di solitudine, osserva Victor, erano collegati a cambiamenti nella vita delle persone, come la perdita di un partner o l'indebolimento della salute fisica. In uno studio del 2015 Victor e colleghi hanno anche scoperto che, al contrario di quanto si crede comunemente, il periodo dell'anno più solitario per gli anziani non è il Natale, ma l'estate, quando le routine delle famiglie cambiano. Perciò, racconta, aveva pensato di intitolare lo studio «Nessuno invita la nonna al mare».

Ridurre la solitudine

Mentre aumenta il consenso sul fatto che la solitudine e l'isolamento sociale siano collegati al declino fisico ed emotivo, gli scienziati hanno iniziato a sperimentare una serie di rimedi. Nel 2011 l'internista Christopher Masi, che all'epoca collaborava

con John Cacioppo all'Università di Chicago e oggi lavora per il NorthShore University HealthSystem, ha analizzato venti interventi contro la solitudine ben progettati su un totale di 50 studi pubblicati tra il 1970 e il 2009. Gli interventi ricadevano in quattro categorie principali: miglioramento delle competenze sociali delle persone sole, aumento del sostegno sociale, programmi di *mentoring*, interazione sociale in contesti ricreativi e terapia cognitivo-comportamentale (TCC), cioè una forma di psicoterapia della parola che cerca di allontanare o di rileggere in chiave positiva le interpretazioni negative delle esperienze individuali. «In media – sostiene Masi – per tutti i 20 interventi l'effetto generale era una riduzione della solitudine». Ma l'opzione con gli effetti più notevoli, riferisce, era la TCC.

Dato che i bambini solitari diventano adolescenti e adulti solitari (e depressi), si potrebbe pensare che gli scienziati concentrino i propri tentativi di intervento sui pazienti più giovani. Purtroppo, come afferma Lodder, dell'Università di Groninga, «per i bambini non c'è molta offerta».

Le barriere che rendono più difficile aiutare i bambini sono evidenti per Ami Rokach, uno psicologo clinico che insegna alla York University di Toronto. Nella sua clinica privata cura i pazienti adulti che soffrono di solitudine con la TCC e per i ragazzi a partire dai 15 anni usa una varietà di tecniche, nelle quali è spesso integrata una componente di TCC. «Nei ragazzi – spiega – la TCC funziona soltanto se riesco a convincere i genitori a collaborare. È molto difficile se poi vanno a casa e ricevono il messaggio che non piacciono a nessuno o che non ci si può fidare degli altri».

Alcuni degli interventi più riusciti non affrontano direttamente la solitudine ma le circostanze che ne stanno alla base

All'altro estremo dello spettro di età c'è stato un fiorire di novità dedicate agli anziani. Sono stati tentati interventi di *mindfulness*, robot da compagnia e programmi per insegnare a usare Skype. Abbinare gli anziani a volontari di età simile per una serie di visite ha avuto un certo successo nel limitare la solitudine, afferma lo psichiatra Brian Lawlor del Trinity College di Dublino. Ma gli interventi che hanno mostrato i risultati migliori hanno incluso la TCC.

Per esempio, ha dimostrato l'efficacia della TCC uno studio condotto nel 2016 da Laurie Theeke, professoressa di infermieristica geriatrica dell'Università della West Virginia e dai suoi colleghi. I 27 volontari affetti dalla solitudine (selezionati in base alla scala UCLA completa) ricevevano 12 settimane di terapia di gruppo in un programma strutturato chiamato LISTEN oppure ascoltavano seminari sull'invecchiamento salutare.

I gruppi di terapia, costituiti da 3-5 uomini e donne anziani, discutevano di argomenti come l'«appartenenza» o le «relazioni» e imparavano a correggere alcuni dei propri pregiudizi negativi. Un dirigente in pensione che aveva 83 anni e si sentiva inutile ha capito grazie agli altri partecipanti che le capacità che aveva appreso negli affari erano ancora utilizzabili e in seguito ha creato una newsletter per gli anziani del suo palazzo. Una donna di 65 anni che credeva che nessun uomo sarebbe stato interessato alla sua compagnia si è sentita dire dagli uomini del suo gruppo che avrebbero apprezzato passare del tempo con lei.

Dodici settimane dopo il termine dello studio, i partecipanti al programma LISTEN avevano ridotto i livelli di solitudine («quasi fino a raggiungere un livello di non solitudine», sostiene Theeke) e riferivano anche un maggiore sostegno sociale e una diminuzione della pressione sanguigna sistolica. Il gruppo di controllo riferiva invece una diminuzione delle abilità funzionali e della qualità della vita.

I partecipanti al programma LISTEN avevano ammesso sia a se stessi che agli altri di sentirsi soli, ma non tutti sono in grado di fare altrettanto. Alcuni degli interventi più riusciti, secondo Victor, non affrontano direttamente la solitudine, ma le circostanze che stanno alla base: se la salute trattiene le persone in casa, la geriatra suggerisce di organizzare passeggiate di gruppo, e se mancano i mezzi di trasporto dovrebbero essere offerti. Ricorda che sua madre usava un servizio che ogni settimana portava un gruppo di anziane al mercato e che presto le donne avevano iniziato a scambiarsi i numeri di telefono e a fare amicizia. «Da sole non si sarebbero mai sognate di parlarsi per strada», racconta.

Secondo gli esperti, molti temono che ammettere di sentirsi soli potrebbe spingere gli altri a pensare che hanno qualcosa che non va. Le campagne che attirano l'attenzione pubblica sul fenomeno possono essere d'aiuto, così come può essere d'aiuto sfatare i luoghi comuni sulla solitudine, soprattutto per gli anziani. Il luogo comune che per gli anziani è normale essere soli può essere dannoso di per sé, secondo Victor. Nel 2016 con i suoi colleghi ha riferito di uno studio condotto su individui sopra i 50 anni: coloro che nei test iniziali si aspettavano di essere soli, otto anni dopo avevano in effetti maggiori probabilità di esserlo rispetto a quelli che non avevano la stessa aspettativa.

Il futuro della ricerca sulla solitudine

Più cose gli scienziati sanno sulla solitudine, più sono in grado di identificare i gruppi a rischio in base a determinati problemi. Uno studio effettuato nel 2016 tra la popolazione danese da Mathias Lasgaard, di DEFACTUM e dell'Università della Danimarca meridionale, ha identificato alcuni gruppi ad alto rischio, tra cui i membri di minoranze etniche, i disoccupati, i disabili, chi soffre di malattie mentali a lungo decorso e chi vive da solo. È quindi possibile sviluppare programmi destinati specificamente a quei gruppi.

Per chi è affetto da solitudine cronica, la TCC resta la cura di prima scelta, ma una terapia farmacologica a base di allopregnanolone, un neurosteroide, ha mostrato potenzialità nel ridurre la percezione di isolamento sociale negli studi su animali e in futuro potrebbe diventare un alleato utile per la TCC, secondo Stephanie Cacioppo, dell'Università di Chicago. Continuano a proliferare anche le nuove tecniche per affrontare la solitudine degli anziani.

La sfida più ardua è alleviare la tragedia dei bambini affetti da solitudine cronica. Forse in futuro si potrà attuare qualche intervento, dice Rokach. «È fattibile, ma richiede lavoro e dedizione da parte di insegnanti e genitori. Molti non sono aperti mentalmente. Dicono semplicemente ai bambini: "Vai fuori a giocare"». ■

PER APPROFONDIRE

Trajectories of Loneliness During Childhood and Adolescence: Predictors and Health Outcomes. Qualter P. e altri, in «Journal of Adolescence», Vol. 36, n. 6, pp. 1283-1293, dicembre 2013.

Age Differences in Loneliness from Late Adolescence to Oldest Old Age. Luhmann M. e Hawkley L.C., in «Developmental Psychology», Vol. 52, n. 6, pp. 943-959, giugno 2016.

Loneliness in Early Adolescence: Friendship Quantity, Friendship Quality, and Dyadic Processes. Lodder G.M.A. e altri, in «Journal of Clinical Child & Adolescent Psychology», Vol. 46, n. 5, pp. 709-720, 2017.

EVOLUZIONE

Quando i serpenti impararono a STRISCIARE

Joel Sartore/Getty Images

Nuove analisi sui fossili e scoperte della biologia evolutiva dello sviluppo gettano luce su un'origine dei serpenti ricercata da tempo

di Hongyu Yi

n indovinello cinese invita a scoprire l'identità di «corridori senza gambe, nuotatori senza pinne, planatori senza ali». La risposta, ovviamente, sono i serpenti. Oggi oltre 3000 specie hanno in comune un corpo lungo e senza arti che può muoversi sulla terra, in acqua e persino in aria tra gli alberi. I loro antichi antenati, tuttavia, avevano arti di varie forme. Come hanno fatto i serpenti a perdere le zampe?

Forme speciali di appendici sono spesso legate a specifici habitat. Le balene hanno evoluto le pinne come adattamenti al mondo acquatico. Gli uccelli hanno evoluto le ali col passaggio a una vita nell'aria. Ma gli evoluzionisti hanno faticato per decenni per capire il tipo di ambiente che ha contribuito a forgiare il piano corporeo particolare dei serpenti, in parte perché i serpenti di oggi sono diffusi ovunque nel mondo e in parte perché la documentazione fossile dei primi serpenti è scarsa. Il dibattito si è focalizzato su due ipotesi. Una sostiene che i serpenti abbiano perso le gambe sulla terraferma adattandosi agli ambienti sotterranei, l'altra che abbiano evoluto i loro tratti distintivi in mare. Entrambe le situazioni favoriscono un corpo affusolato.

Se potessimo viaggiare nel tempo fino al Cretaceo, tra 145 milioni e 66 milioni di anni fa, quando si sono evoluti i serpenti, potremmo osservare i serpenti ancestrali nei loro veri habitat e vedere con i nostri occhi se erano specialisti dello scavo o del nuoto. Ma abbiamo solo i loro resti fossili, e può essere difficile ricostruire l'ecologia e il comportamento di un animale solo basandosi sulle ossa, soprattutto quando sono danneggiate o frammentarie, come succede spesso con i fossili.

Negli ultimi dieci anni, però, i progressi delle tecnologie di *imaging* hanno permesso agli scienziati di superare i limiti precedenti alla comprensione delle origini dei serpenti. Le scansioni dei crani fossili con raggi X ad alta energia hanno rivelato caratteristiche nascoste che danno indicazioni sull'ecologia dei serpenti del passato. Allo stesso tempo gli studi di biologia dello sviluppo hanno chiarito i meccanismi genetici alla base della perdita degli arti e dell'aumento del numero di vertebre.

Siamo lontani da una conoscenza completa. Ma finalmente queste scoperte permettono di sciogliere l'antico dilemma su come i serpenti sono andati incontro alla loro straordinaria trasformazione evolutiva.

Esperimenti evolutivi

I serpenti non hanno perso l'uso degli arti in un colpo solo. I fossili indicano che il primo serpente senza zampe, *Dinilysia patagonica*, è comparso circa 85 milioni di anni fa durante il Cretaceo superiore, quando i dinosauri regnavano sovrani. I ricercatori hanno recuperato i resti di *Dinilysia*, ottimamente conservati, da arenarie color ruggine dell'altopiano della Patagonia. Lo scheletro quasi completo di questo animale, lungo come un essere umano adulto, mostra che non solo non aveva le zampe, ma era anche privo di spalle e cinto pelvico per sostenere appendici simili. Dato che il fossile è stato scoperto in depositi sedimentari terrestri sappiamo che viveva sulla terraferma.

Ma altri serpenti di quel periodo avevano ancora le zampe. *Najash rionegrina*, un serpente terricolo argentino di circa 92 milioni di anni fa lungo appena come uno spaghetto, aveva un paio di minuscoli arti posteriori composti da elementi ossei dal bacino alla caviglia. Gli arti di *Najash* erano troppo piccoli e delicati per reggere il peso dell'animale. È invece possibile che fossero usati come pterigopodi, strutture anatomiche usate nell'accoppiamento.

Altri serpenti del Cretaceo superiore dotati di arti vivevano negli oceani. Una serie di fossili scoperti in depositi marini vicino all'attuale Gerusalemme si sono rivelati serpenti marini che nuotavano tra gli squali. Due di queste creature, *Pachyrhachis* e *Haasiophis*, mostrano arti posteriori quasi completi fatti di ossa di zampa e piede. La funzione di questi arti non è chiara. Sia l'uno che l'altro sono privi di un cinto pelvico che connetta la zampa al tronco del corpo, per cui le loro zampe dovevano essere di scarsa utilità per nuotare.

Hongyu Yi è professoressa associata all'Istituto di paleontologia dei vertebrati e paleoantropologia dell'Accademia cinese delle scienze a Pechino. Studia l'evoluzione degli organi sensoriali per capire come l'adattamento ad alcuni ambienti ha modellato i rettili.

Nel complesso questi fossili indicano che l'evoluzione dei serpenti era già ben avviata alla fine del Cretaceo. Il corpo lungo e sinuoso con arti molto ridotti era già realtà, e i serpenti si trovavano nel pieno di una radiazione adattativa che li vedeva diversificarsi rapidamente in una moltitudine di forme in grado di sfruttare una grande varietà di nicchie ecologiche. Quindi, per indagare l'origine del piano corporeo caratteristico dei serpenti gli scienziati devono esaminare fossili ancora più vecchi.

Fino a poco tempo fa i ricercatori avevano a disposizione pochi fossili di serpenti precedenti al Cretaceo superiore. Ma negli ultimi cinque anni sono venuti alla luce nuovi candidati del Cretaceo inferiore e dell'ancor precedente Giurassico. I resti, che provengono da depositi di terraferma europei e americani, sono piuttosto frammentari e non rivelano molto sulle proporzioni corporee di questi animali. Se davvero fossero serpenti, però, questi esemplari estenderebbero la documentazione fossile di questo gruppo di altri 70 milioni di anni e dimostrerebbero che le più antiche specie conosciute erano piccole e vivevano sulla terraferma, non in mare.

Tuttavia, le crescenti prove fossili che indicano un'origine terrestre per i serpenti non hanno affrontato la questione del perché abbiano sviluppato un corpo affusolato. In uno stile di vita sotterraneo la riduzione degli arti sarebbe vantaggiosa. I serpenti fossori e le lucertole di oggi si limitano a spingere la testa attraverso il terreno morbido per scavare nel sottosuolo: le zampe sarebbero solo d'intralcio. Ma stabilire che un particolare serpente fossile davvero scavava sottoterra è più complicato. I fossili del Giurassico e di inizio Cretaceo sono troppo frammentari per ricostruirne il comportamento. *Najash* doveva essere uno scavatore, a giudicare dalla coda corta, che somiglia a quella degli odierni serpenti fossori. *Dinilysia*, il primo serpente conosciuto privo di zampe, era molto più grande dei moderni rettili fossori. Sarà stato anch'esso uno scavatore? Ho deciso di scoprirlo.

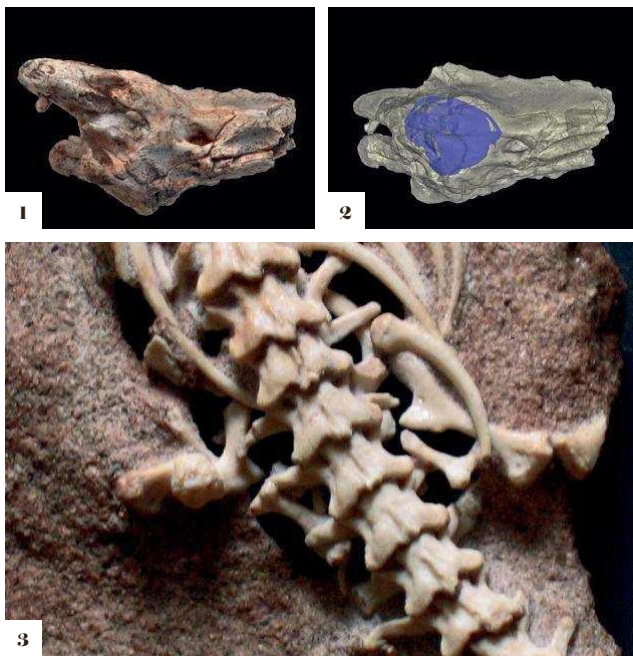
La pulce nell'orecchio

Il giorno di Natale del 2014 ho preso un aereo da Buenos Aires a New York, portandomi dietro alcuni crani di *Dinilysia* da sottoporre a tomografia computerizzata per studiare l'orecchio di questo animale. Perché proprio l'orecchio? Lavorando all'American

IN BREVE

Il piano corporeo dei serpenti rappresenta un allontanamento radicale dalla norma dei vertebrati. I ricercatori si interrogano da tempo su come i serpenti possano aver evoluto i loro tratti estremi.

Nuove analisi sui fossili hanno messo in luce i ruoli dell'ambiente e del comportamento nel modellare la forma dei serpenti.

Le ricerche di biologia evolutiva dello sviluppo hanno rivelato alcuni dei meccanismi genetici che regolano la perdita degli arti e altri aspetti che riguardano l'evoluzione di questi rettili.

Il cranio di *Dinilysia* (*1*), il più antico serpente senza zampe conosciuto, aveva un vestibolo dell'orecchio interno dilatato, come rivelano scansioni a raggi X ad alta risoluzione (*2*). Questo carattere è associato ad animali specializzati per la vita fossoria. Altri serpenti antichi simili, tra cui *Najash*, avevano piccoli arti posteriori (*3*).

Da *The Burrowing Origin of Modern Snakes*, di Yi H e Mark A. Norell, in «Science Advances», Vol. 1, n. 10, articolo n. e1500743, novembre 2015. (*1*, *2*); cortesia Paleoninja, Wikipedia (*3*)

Museum of Natural History di New York con Mark Norell avevo sviluppato un metodo per distinguere i moderni serpenti fossori dalle specie marine in base a quella regione anatomica, e volevamo provarlo su *Dinilysia*.

Usando una tecnica di imaging all'avanguardia abbiamo ottenuto immagini a raggi X ad alta risoluzione dei crani di dozzine di serpenti e lucertole di oggi. Poi abbiamo unito queste immagini per creare modelli virtuali tridimensionali del loro orecchio interno. Ci siamo concentrati su una struttura, il vestibolo, che contiene il fluido linfatico e i cosiddetti otoliti che aiutano a percepire la gravità e il movimento.

Le analisi statistiche sulla morfologia di questi modelli hanno rivelato differenze significative tra il vestibolo dei fossori specializzati e quello dei terricoli generalisti e delle forme acquatiche. Nelle lucertole e nei serpenti marini il vestibolo si è ridotto a quasi nulla. Nei fossori, invece – specialmente negli scavatori attivi, che scavano le loro tane anziché occupare quella di un altro animale – il vestibolo è gonfio come un palloncino, il che permette un migliore udito nel sottosuolo. Questa tendenza prescinde dalle dimensioni e dalla struttura degli arti della specie: abbiamo osservato l'espansione vestibolare in un boa delle sabbie di un metro e in un serpente asiatico di 40 centimetri, nonché nella bizzarra lucertola scavatrice *Bipes*, che è provvista di arti anteriori ma non posteriori.

Avevo motivo di sospettare che *Dinilysia* si sarebbe allineato con i fossori: uno studio del 2012 mostrava un'immagine a raggi X del suo cranio in cui era visibile un grande vestibolo, ma nessuno sapeva che aspetto avesse quel vestibolo in 3D. Ero certa che sottoporre il fossile al nostro metodo avrebbe risolto la questione del comportamento locomotore di questo antico serpente.

Il nostro studio ha confermato che il vestibolo di *Dinilysia* è davvero grande, con la stessa forma a pallone che si vede nei fossori di oggi. Di fatto è quasi indistinguibile da quello dei moderni serpenti arcobaleno, grandi serpenti scavatori del Sudest asiatico che mangiano principalmente roditori e serpenti più piccoli. Il nostro modello ha previsto che *Dinilysia* fosse uno scavatore con una probabilità di oltre il 95 per cento. Pensiamo che vivesse in modo molto simile ai serpenti arcobaleno, che vanno a caccia sopra il terreno e scavano in suoli poco compatti per ripararsi.

Trasposti su un albero evolutivo, i risultati mettono in luce il ruolo dello cambiamento di habitat nella transizione dalle lucertole ai serpenti. Quella di *Dinilysia* non è stata la prima linea evolutiva a staccarsi dalle lucertole. È invece strettamente imparentata con l'antenato dei serpenti attuali: più avanzato di *Najash,* con le sue zampe posteriori funzionali, ma più primitivo rispetto alle specie moderne. La scoperta che *Dinilysia* era fossorio rafforza l'ipotesi per cui le linee evolutive che hanno portato ai serpenti moderni abbiano perso le zampe nell'adattarsi alla vita sottoterra.

Il fatto che scavare, anziché nuotare, sia diventato il *modus operandi* predominante negli antenati dei serpenti attuali non implica necessariamente che nel Cretaceo un gruppo di lucertole abbia deciso di vivere sottoterra e abbia gradualmente perso gli arti fino a diventare serpenti. L'evoluzione funziona più che altro in modo stocastico. Il passaggio alla vita fossoria è uno dei tanti eventi influenti avvenuti nei milioni di anni in cui ha preso forma il piano corporeo caratteristico dei serpenti. Il nuovo stile di vita ha probabilmente liberato i serpenti ancestrali da vincoli genomici che fino ad allora erano stati essenziali per la sopravvivenza. Liberi da questi vincoli, arti e tronco hanno potuto cambiare. Per questo nella documentazione fossile dei serpenti si vede una gamma così vasta di tipi di arti e lunghezze del corpo.

Corpi che si allungano

Il sequenziamento di interi genomi e le modifiche genetiche sperimentali dei serpenti moderni hanno ulteriormente rafforzato la comprensione dell'evoluzione dei serpenti da parte degli scienziati. Tutte le specie di vertebrati condividono un gran numero di geni. Le enormi differenze nei piani corporei di esseri che vanno dagli uccelli ai pesci derivano in realtà da mutazioni di una piccola parte del genoma. In teoria, l'evoluzione nei serpenti di un corpo lungo e privo di arti a partire dalla forma corta e a quattro zampe di una lucertola potrebbe essere dipesa da cambiamenti in poco più di una manciata di regioni chiave del genoma.

Uno sguardo ravvicinato allo sviluppo embrionale dei vertebrati suggerisce i passaggi necessari per l'evoluzione di uno dei tratti distintivi dei serpenti: la loro lunga colonna vertebrale, composta da più di 300 vertebre contro le 33 degli esseri umani e le 65 di una tipica lucertola. Testa e tronco dei vertebrati con zampe si formano a partire da blocchi di cellule chiamati somiti. Ogni somite dà origine a una vertebra. I somiti inizialmente appaiono simili, quindi si differenziano per formare le regioni cervicali, toraciche, lombari, sacrali e caudali della colonna vertebrale.

Un gene dal fantasioso nome *Lunatic Fringe* (frangia estremista) aiuta ad aumentare il numero di vertebre nei serpenti. Lavora con altri geni generatori di somiti per creare gruppi di cellule all'estremità caudale dell'embrione. Una volta che si è accumulato un certo numero di cellule, si forma un somite che avanza lungo il corpo, come una perlina su una cordicella. Nel complesso, i geni generatori di somiti sono noti come l'orologio della somitogenesi perché si accendono e si spengono a intervalli regolari per formare somiti. Più veloce va l'orologio, più somiti sono prodotti dallo stesso numero di cellule. Uno studio pubblicato nel 2008 dal frup-

Forme in cambiamento

L'evoluzione dei serpenti dalle lucertole loro antenate è una delle trasformazioni più drastiche nella storia dei vertebrati. Alcune scoperte recenti hanno permesso ai ricercatori di cominciare a ricostruire il modo in cui è emerso il piano corporeo caratteristico dei serpenti, con tronchi estremamente lunghi e arti mancanti.

Illustrazione di Portia Sloan Rollings

po di Céline Gomez, ora al Wellcome Trust Sanger Institute, ha dimostrato che *Lunatic Fringe* è espresso più frequentemente nella serpe del grano, il cui orologio della somitogenesi ticchetta quattro volte più veloce di quello delle lucertole.

Le vertebre non sono le uniche ossa a essere impazzite nei serpenti. Anche le costole lo hanno fatto. Prendiamo topi e alligatori, per fare un esempio. In questi animali solo le vertebre toraciche sono accompagnate da costole. Non ci sono costole attaccate alle vertebre cervicali e lombari perché un gene chiamato *Hox10* sopprime la formazione di costole in queste regioni. Nei serpenti, però, tutte le vertebre hanno costole, tranne le tre più vicine alla testa e quelle della coda. Per lungo tempo i ricercatori hanno ipotizzato che topi e alligatori fossero buoni modelli per l'aspetto dello scheletro del tronco negli animali ancestrali a quattro zampe, con le vertebre del collo e delle regioni lombari distinte da quelle del torace. L'idea era che i serpenti avessero sviluppato la loro colonna vertebrale omogenea a partire da quella forma ancestrale, una specializzazione associata verosimilmente alla perdita degli arti. Gli scienziati sospettavano che i geni *Hox,* che negli altri animali governano la differenziazione delle vertebre, fossero stati in qualche modo alterati nei serpenti.

Un'analisi fossile recente indica uno scenario diverso. Nel 2015 Jason J. Head, all'Università di Nebraska-Lincoln, e P. David Polly dell'Università dell'Indiana a Bloomington hanno sviluppato modelli per l'evoluzione dello scheletro del tronco negli animali a quattro zampe, detti anche tetrapodi. Innanzitutto, hanno previ-

sto statisticamente che i serpenti in realtà hanno altrettante regioni distinte a livello di colonna vertebrale delle lucertole. Forse i geni *Hox* dei serpenti regolano solo cambiamenti di forma più sottili nei vari tipi di vertebre. Inoltre, gli scienziati hanno stabilito che contrariamente a quello che si riteneva, i tetrapodi ancestrali avevano costole associate alla maggior parte delle vertebre sopra il bacino. I fossili di antichi parenti di mammiferi e alligatori mostrano costole attaccate alle vertebre cervicali e lombari. L'assenza o la riduzione delle costole in queste regioni negli attuali alligatori, uccelli e mammiferi si è dunque evoluta in modo indipendente invece di essere stata ereditata da un antico antenato comune.

L'osservazione comparata di fossili e di specie recenti ha rivelato gli aspetti dello scheletro del tronco che i serpenti hanno ereditato dai loro antenati (la distribuzione delle costole) e quelli che sono unici (il corpo estremamente allungato).

Di recente sono stati fatti nuovi passi avanti nella comprensione dei meccanismi genetici alla base della perdita degli arti. Nel 2016, Evgeny Z. Kvon del Lawrence Berkeley National Laboratory e colleghi hanno pubblicato la scoperta di un «interruttore» genetico per lo sviluppo degli arti nei serpenti e nei topi. Per il loro studio, i ricercatori hanno incollato un pezzo di un gene di serpente nel genoma di un topo. L'esperimento ha prodotto un animale da fantascienza: un topo «serpentizzato», che aveva un corpo normale da topo e arti troncati.

Il gene del serpente nel topo serpentizzato consiste in un segmento di DNA chiamato sequenza regolatrice ZRS. Per la normale formazione degli arti posteriori nel topo è fondamentale una ZRS attiva, ma basta una singola mutazione in questo gene per causare anomalie negli arti. Poiché è così importante per la sopravvivenza, la sequenza regolatoria ZRS è rimasta per lo più invariata nel corso dell'evoluzione dei tetrapodi, ma è molto variabile nei serpenti.

Le varianti di ZRS trovate nei serpenti sono coerenti con la diversità morfologica nello sviluppo dei loro arti. I serpenti di oggi con caratteri primitivi, tra cui pitoni e boa, mantengono una sequenza ZRS promotrice degli arti, anche se più corta di quella degli altri vertebrati con le zampe. Di conseguenza entrambe le specie hanno arti posteriori rudimentali, simili a speroni. Al contrario, serpenti con caratteri avanzati come le serpi del grano hanno perso il segmento ZRS e non hanno ossa degli arti.

La scoperta di varianti genetiche che coincidono con variazioni nello sviluppo degli arti ci regala una nuova comprensione dei fossili. *Najash* conservava il cinto pelvico, il femore e parti della tibia e della fibula, ma non le ossa delle dita. Anche *Pachyrhachis* era privo di dita. *Najash* e *Pachyrhachis* indicano che nella transizione da lucertola a serpenti i geni regolatori degli arti erano modificati, ma ancora funzionali, in diversi serpenti ancestrali. Da parte sua, *Dinilysia* non aveva né ossa degli arti né cinto pelvico: è la prima volta che in un serpente si ha la perdita completa di funzione nell'evoluzione di una sequenza promotrice degli arti.

Nel Cretaceo superiore, i serpenti subirono un drammatico cambiamento nel piano corporeo e forse una rapida evoluzione a livello del genoma. Abbiamo appena cominciato a sondare le basi genetiche dei caratteri osservati nella documentazione fossile. *Haasiophis* era privo di cinto pelvico ma aveva un femore completo e tibia e fibula ben sviluppate, oltre a ossa delle caviglie e dei piedi. Nessun serpente vivente mostra una configurazione simile, ma la sua presenza nella documentazione fossile suggerisce un'interazione, nel lontano passato, di molteplici sequenze per la regolazione degli arti simili a ZRS.

Anelli mancanti

Nuovi elementi sulle origini dei serpenti continuano a emergere. Nel 2015, un gruppo di ricercatori guidato da David M. Martill dell'Università di Portsmouth ha annunciato la scoperta di un serpente a quattro zampe di 120 milioni di anni fa, proveniente dal Brasile. *Tetrapodophis amplectus* aveva quattro arti completi di dita. Gli arti dovevano essere abbastanza forti da funzionare come strutture anatomiche prensili nell'accoppiamento. Pur essendo più corto di una bacchetta per il cibo cinese, questo animale aveva oltre 200 vertebre. Il tronco lungo e la coda corta suggeriscono che fosse un animale fossorio, il che corrobora l'ipotesi per cui i serpenti si siano originati sulla terraferma. Data l'età geologica, l'ecologia e lo stato delle zampe, *Tetrapodophis* sembra avere tutte le caratteristiche cercate dai paleontologi nei serpenti di transizione.

Tuttavia nel 2016, a un congresso della Society of Vertebrate Paleontology, alcuni ricercatori hanno messo in dubbio la descrizione del fossile fatta dagli autori della scoperta. I critici hanno argomentato che *Tetrapodophis* non sarebbe un serpente ma una lucertola marina. L'esemplare potrebbe riaccendere il dibattito su dove tra terraferma e mare si siano originati i serpenti. In quello stesso congresso, però, un gruppo di scienziati ha riferito che il proprietario di *Tetrapodophis* lo ha rimosso dal museo pubblico dove sono stati ospitati i fossili, violando la convenzione secondo cui tutte le specie con un nome, fossili o esistenti, devono essere disponibili agli altri ricercatori e al pubblico, per ulteriori studi. Di conseguenza il dibattito su *Tetrapodophis* si è fermato, e molti scienziati si oppongono a ulteriori pubblicazioni su questa specie fino a quando non spunterà un nuovo fossile o fino a che il materiale originale non sarà restituito al museo.

Tetrapodophis a parte, attualmente gli scienziati stanno studiando i misteri irrisolti dell'evoluzione dei serpenti. Per esempio, non vediamo l'ora di determinare se i serpenti siano apparsi per la prima volta nei continenti del nord o in quelli del sud e se i membri fondatori del gruppo fossero notturni o diurni. Vogliamo anche sapere in che modo i serpenti hanno evoluto mascelle grandi abbastanza da ingoiare prede più grandi della loro testa, e come hanno acquisito il veleno.

Le risposte a queste domande arricchiranno una storia già avvincente. La cultura popolare e le religioni ci hanno dato ogni sorta di storia per spiegare come certe parti del corpo possono essere perse o altrimenti trasformate. La storia biblica su come i serpenti hanno perso le zampe vuole che Dio abbia maledetto il serpente per aver indotto Adamo ed Eva a mangiare la mela. Nella leggenda cinese, il divino Imperatore di Giada punì il serpente per aver ferito gli umani ordinando di tagliarne le zampe e di darle alla rana. Tuttavia, come dimostrano le prove fossili e genetiche dei serpenti, la selezione naturale non agisce per uno scopo. Le novità evolutive non hanno origine da progetti, ma emergono dalle interazioni senza fine tra gli animali e il loro mondo. ■

PER APPROFONDIRE

Evolution of the Snake Body Form Reveals Homoplasy in Amniote *Hox* Gene Function. Head J.J. e Polly P.D., in «Nature», Vol. 520, pp. 86-89, aprile 2015.

A Four-Legged Snake from the Early Cretaceous of Gondwana. MartillL D.M. e altri, in «Science», Vol. 349, pp. 416–419, luglio 2015.

The Burrowing Origin of Modern Snakes. Yi H. e Norell M.A. in «Science Advances», Vol. 1, n. 10, articolo n. e1500743, novembre 2015.

Progressive Loss of Function in a Limb Enhancer during Snake Evolution. Kvon E.Z. e altri in «Cell», Vol. 167, n. 3, pp. 633-642, ottobre 2016.

Alla conquista della terraferma. Clack J.A. in «Le Scienze» n. 450, febbraio 2006.

Pinguini ingannati

Giovani esemplari seguono i segnali giusti verso zone dove cibarsi, ma quando arrivano non trovano i pesci

In una trappola ecologica, indizi naturali portano gli animali a cercare cibo o a riprodursi in posti che non sono più vantaggiosi, mettendoli in pericolo. Dal 2000 a oggi, gli ecologi hanno identificato oltre 20 trappole del genere, per esempio bagliori polarizzati di luce che confondono gli insetti, facendo sembrare il vetro simile all'acqua.

A inizio 2017 alcuni ricercatori hanno trovato la prima prova di una trappola ecologica in un oceano. I pinguini africani, una specie in pericolo di estinzione che si riproduce in Sudafrica e Namibia, sembrano programmati per seguire segnali fino alla costa (*linee gialle*) in cerca di alici (*viola*) e sardine. Tuttavia, a causa della pesca eccessiva di queste due specie di pesci, il cibo non è lì, e l'80 per cento dei giovani pinguini rischia di morire. I sopravvissuti riescono a trovare di nuovo la via verso sud. Ma poi «hanno cuccioli che andranno verso la trappola, dove rimarranno bloccati», dice l'ecologo Richard Sherley dell'Università di Exeter, in Regno Unito, che ha diretto lo studio. «Diventa un vortice di estinzione.»

Katie Peek

Falso segnale

Il microscopico fitoplancton (*verde*) libera nell'ambiente dimetil-solfuro quando è mangiato da un predatore come lo zooplancton, di dimensioni più grandi. Le alici mangiano lo zooplancton, così i pinguini seguono i segnali di dimetil-solfuro per trovare il pesce di cui si cibano. Il pesce (*viola*) però a nord non si trova più, ma solo a sud.

Rotte dei pinguini
Inizio Fine
Percorsi a nuoto di 54 pinguini tracciati con GPS

Concentrazione di clorofilla, un pigmento del fitoplancton (milligrammi per metro cubo)
0-3 3-6 6-9 9-12 12+

Densità di alici (grammo per metro quadrato)
1-5 5-25 25-50 50-100 100-500 500+

Pinguini che hanno nuotato verso la trappola

Pinguini che hanno nuotato verso le alici

Area precedente per alici e sardine

NAMIBIA

SUDAFRICA

OCEANO ATLANTICO

Trappola ecologica
I pinguini giovani seguono il segnale del fitoplancton (*verde*) fino alla costa, ma le alici, fondamentali per la sopravvivenza, non sono più lì, sostituite da ghiozzi, pesci meno nutrienti, e i pinguini soffrono la fame.

Banchetto nascosto
Le alici prosperano attorno alla costa sudafricana, ma il segnale del fitoplancton richiama la maggior parte dei pinguini più a nord, verso la Namibia.

Colonie riproduttive
Alcuni pinguini giovani (*blu*) che lasciano il nido trovano le alici, ma molti altri (*nero*) nuotano fino alla trappola.

Fonte: *Metapopulation Tracking Juvenile Penguins Reveals an Ecosystem-Wide Ecological Trap*, di Richard B. Sherley e altri, in «Current Biology», Vol. 27, n. 4, 20 febbraio 2017

di Paolo Attivissimo
Giornalista informatico e studioso della disinformazione nei media

Pseudoscienza dell'acqua irradiata

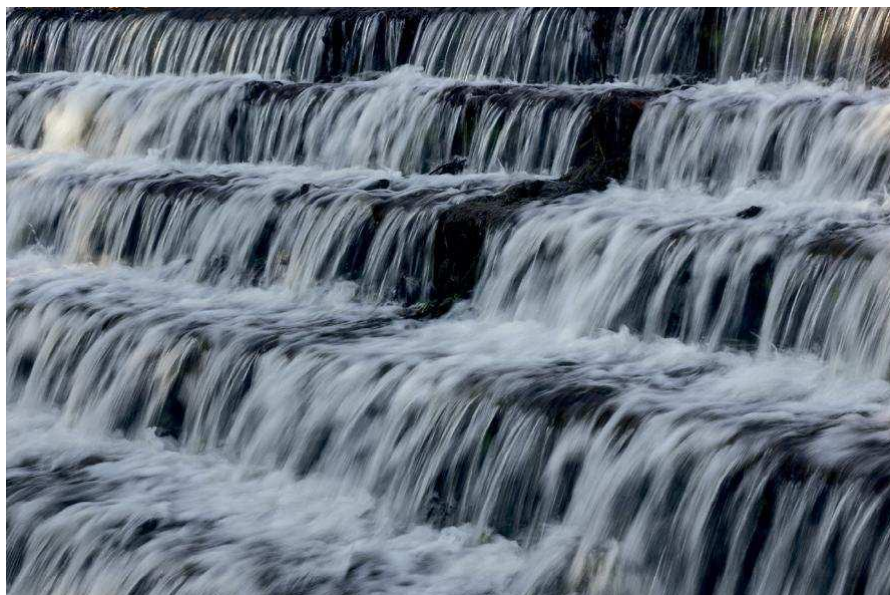
La non conoscenza delle tecniche di ripresa fa scambiare video manipolati per realtà

"Guardate che cosa accade a un flusso d'acqua quando è esposto a una frequenza», dice dal palco Dane Wigington, capo ricercatore di Geoengineeringwatch.org, indicando lo schermo che mostra un video in cui l'acqua inizia a fluire in modo anomalo, solidificandosi fino a formare sgraziati scalini invece della normale curva di caduta. Dal pubblico arriva un mormorio di stupore e orrore. Wigington sta parlando a un convegno dedicato alla cosiddetta «geoingegneria clandestina», ovvero la tesi secondo cui i governi non solo sarebbero in grado di manipolare il clima ma riuscirebbero addirittura a farlo di nascosto usando, fra l'altro, le frequenze radio.

Per gli spettatori, il video mostrato sullo schermo sembra confermare le parole di Wigington in maniera inoppugnabile: il fenomeno è lì da vedere, senza bisogno di ricorrere a formule oppure calcoli, e in un mondo in cui le onde radio artificiali sono ovunque sembra quindi giustificato preoccuparsi che questo irraggiamento continuo possa far danni, considerato il suo effetto palese sull'acqua dalla quale dipendiamo.

Ma in realtà il pubblico della conferenza sta assistendo a un esperimento scientifico innocuo spacciato per un fenomeno misterioso: il relatore non lo dice, ma il tubo flessibile da cui defluisce l'acqua è stato fissato a un altoparlante, al quale viene inviato un segnale acustico che lo fa vibrare a circa 30 cicli al secondo. Il tubo e il getto d'acqua quindi oscillano rapidamente seguendo queste vibrazioni sonore. La videocamera che riprende l'esperimento ha una cadenza di ripresa molto vicina alla frequenza di oscillazione del getto, con il risultato di creare un'illusione ottica: il getto d'acqua sembra formare scalini, ma solo nel video, mentre dal vivo continua a comportarsi come di consueto. Questo fenomeno è un parente stretto dell'illusione delle ruote dei carri che sembrano girare al contrario nei film *western*; le onde radio non c'entrano nulla e si tratta solo di un curioso effetto di ripresa.

Purtroppo, però, oggi la conoscenza delle tecnologie di ripresa è scarsissima presso il grande pubblico, nonostante tutti abbiano in tasca uno *smartphone* capace di realizzare video di ottima qualità: concetti come cadenza di ripresa, diaframma, tempo di posa o il fatto stesso che i video siano composti da una sequenza di immagini statiche mostrate in rapida successione e possano quindi generare illusioni ottiche sfuggono alla maggior parte dei possessori di telefonini, che dunque hanno l'impressione che un video sia sempre una rappresentazione fedele della realtà.

Il risultato finale è che le tesi pseudoscientifiche, apparentemente avvalorate da questi video dimostrativi, prendono piede nell'opinione pubblica e talvolta anche presso i governanti, con risultati spesso disastrosi, perché la (presunta) prova video batte emotivamente qualunque prolissa spiegazione tecnica e in televisione funziona benissimo.

Acqua a scalini. Il flusso anomalo a scalini dell'acqua mostrato in video complottisti non è causato da onde radio ma è un'illusione ottica ottenuta con trucchi di ripresa.

Nelson_A_Ishikawa/iStock

Un modo efficace per contrastare questi inganni è prevenirli invece di smentirli, per esempio organizzando nelle scuole dimostrazioni pratiche di illusioni ottiche come questa, che devono essere fatte per forza dal vivo. Anche studenti giovanissimi sono in grado di far tesoro di queste esperienze interattive, in cui possono essere coinvolti usando i propri smartphone per vedere di persona la differenza fra una ripresa video e l'osservazione diretta della realtà. Forse non ricorderanno i dettagli tecnici, ma saranno vaccinati contro chiunque tenti poi di raggirarli proponendo video ingannevoli come questo perché ne sapranno già la spiegazione corretta. E non è mai troppo presto per farli innamorare della scienza.

di Beatrice Mautino
Biotecnologa, giornalista e comunicatrice scientifica. Tra i suoi libri più recenti, l'e-book *Stamina. Una storia sbagliata* (2014) e *Contro natura*, con Dario Bressanini (Rizzoli, 2015)

Uno smalto non per tutti

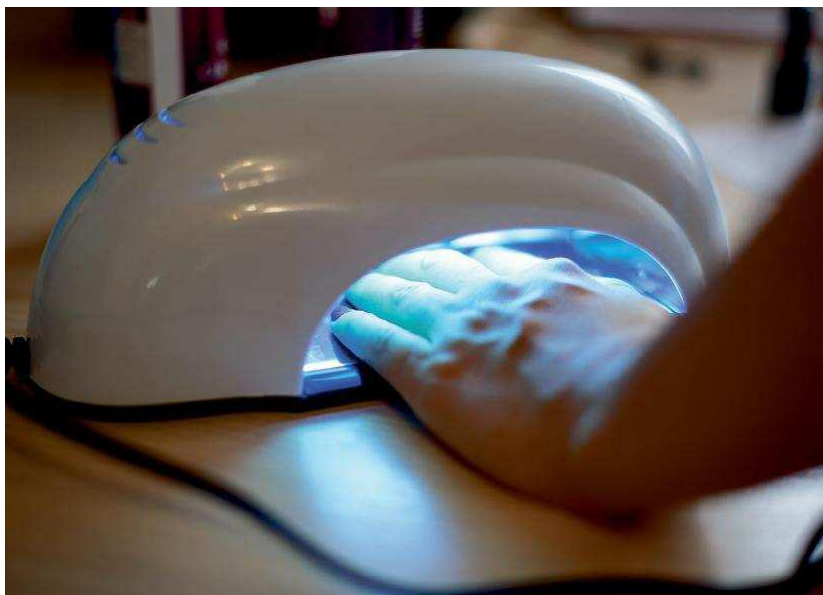
Sempre più diffusi, gli smalti in gel sono molto più complessi da applicare

Hanno fatto la loro comparsa sul mercato statunitense una trentina di anni fa e stanno esplodendo dal punto di vista commerciale negli ultimi tempi con la proliferazione di saloni di bellezza a loro dedicati e prodotti per tutti i gusti.

Parliamo degli smalti in gel che, dal punto di vista chimico, hanno poco in comune con gli smalti classici che basano il loro effetto sull'evaporazione del solvente in cui sono disciolti i polimeri di nitrocellulosa e la conseguente formazione di una pellicola che riveste l'unghia. Negli smalti in gel i polimeri, invece di essere già presenti nella formulazione, si formano una volta che lo smalto è stato steso, grazie a una reazione a catena innescata dall'esposizione ai raggi ultravioletti. In un caso quindi lo smalto «secca», nell'altro, invece, «solidifica», con il risultato diretto che la pellicola degli smalti classici è molto fragile e tende a scheggiarsi e rovinarsi in pochi giorni, mentre uno smalto in gel applicato correttamente può durare anche molte settimane.

Andando nel dettaglio, l'essenza di uno smalto in gel è data dalle sue componenti polimerizzanti: una miscela di molecole acriliche, in forma libera (i monomeri) od organizzate in brevi catene (gli oligomeri), a cui è stato aggiunto un «fotoiniziatore», una sostanza molto sensibile ai raggi ultravioletti che funge da innesco della reazione. Dal punto di vista pratico, è quindi necessario esporre le unghie appena laccate a una fonte di raggi ultravioletti. Gli UV colpiscono il fotoiniziatore e lo trasformano in un radicale libero attivando la reazione di polimerizzazione. Il radicale libero andrà quindi a colpire i monomeri e gli oligomeri acrilici presenti nel gel trasformandoli a loro volta in radicali liberi e inducendoli a legarsi gli uni agli altri fino a quando il gel non sarà del tutto polimerizzato. Durante le sessioni di irraggiamento con la luce ultravioletta, può capitare di sentire calore alle dita o formicolii fastidiosi che spesso sono attribuiti a una non meglio specificata reazione fra la pelle e le componenti dello smalto. In realtà, si tratta semplicemente dei prodotti della reazione di polimerizzazione che, essendo esotermica, genera e rilascia calore.

Conoscere la chimica di questo tipo di smalti permette di prolungarne la durata e di evitare errori che possono comprometterne il risultato. Per esempio, ogni fotoiniziatore risponde a una lunghezza d'onda specifica, generalmente compresa tra i 340 e i 380 nanometri, ma è facile trovare in commercio prodotti che contengono fotoiniziatori sensibili a lunghezze d'onda differenti. Se si sceglie la lampada sbagliata, la reazione di polimerizzazione rischia di non partire o di essere incompleta. Allo stesso modo, si possono ottenere risultati disastrosi applicando strati di gel troppo spessi.

Gli UV non sono in grado di penetrare troppo in profondità e la polimerizzazione quindi avviene in maniera disomogenea. Per questo motivo, anche se i tempi si allungano notevolmente, è necessario applicare strati molto sottili uno sopra l'altro, facendo ogni volta polimerizzare il gel per qualche minuto sotto la lampada. Se poi la fonte luminosa è troppo distante, la polimerizzazione non avviene proprio. L'intensità dei raggi ultravioletti, infatti, diminuisce di circa tre volte se si raddoppia la distanza dalla sorgente.

Con i raggi UV. L'esposizione dello smalto in gel a raggi ultravioletti attiva una reazione chimica che forma una pellicola più duratura rispetto a quella degli smalti classici.

E per rimuoverlo? In teoria è sufficiente acetone, il solvente usato per rimuovere anche lo smalto a base di nitrocellulosa, ma anche in questo caso le cose non sono così semplici come sembrano. È necessario tenere le unghie a mollo nel solvente per alcuni minuti per dargli il tempo di penetrare nella fitta rete polimerica e indurla a spezzarsi. Quindi, se per applicare bene uno smalto classico è sufficiente avere la mano ferma e seguire poche semplici regole, per gli smalti in gel l'errore è dietro l'angolo a ogni passaggio. Insomma, non è uno smalto per tutti.

Sinenkiy/iStock

di Dario Bressanini
chimico, divulgatore interessato all'esplorazione scientifica del cibo.
Autore di *Pane e Bugie*, *OGM tra leggende e realtà* e *Le bugie nel carrello*.

C'è cianuro nel mio sale?

Alcuni additivi alimentari contengono cianuri ma non sono pericolosi

Se, come me, siete soliti leggere le etichette di qualsiasi cosa compriate, vi sarà capitato di vedere, magari con un po' di apprensione, che alcune confezioni di sale fino contengono una sostanza dal nome inquietante: ferrocianuro (o esacianoferrato) di potassio, oppure di sodio. In chimica i cianuri sono sali contenenti un gruppo CN, chiamato «ciano», e il nome mette paura. Quello di potassio (KCN, dove K indica il potassio) è stato protagonista di innumerevoli romanzi gialli: a contatto con acidi, come quelli del nostro stomaco, si libera acido cianidrico, un gas mortale dal lieve odore di mandorle. Ma non temete: il «cianuro» nel sale non uccide, anche se qualche scrittore potrebbe farlo usare a qualche killer pasticcione.

Il ferrocianuro di sodio (E535) e quello di potassio (E536) sono additivi alimentari autorizzati dall'Unione Europea come agenti antiagglomeranti e impiegabili nella misura di 20 milligrammi per ogni chilogrammo di sale. Quando l'umidità supera il 75 per cento il cloruro di sodio tende ad assorbire acqua dall'aria formando grumi o addirittura blocchi cristallini molto duri da rompere. L'aggiunta del ferrocianuro impedisce la formazione di grumi bloccando la crescita dei cristalli di cloruro di sodio e riducendone la tendenza ad assorbire umidità dall'ambiente.

L'esacianoferrato di potassio, $K_4Fe(CN)_6$, è una polvere cristallina gialla inodore. Spesso è aggiunto alle confezioni di sale fino ma raramente al sale grosso perché se i cristalli di sale sono più grandi di 1 millimetro tendono a non formare grumi.

Il legame chimico del gruppo CN con il ferro è molto forte, motivo per cui queste sostanze non sono pericolose come additivi alimentari: sono infatti eliminate tramite urina e feci praticamente inalterate, senza interagire con il nostro corpo. La dose giornaliera ammissibile (DGA) fissata è pari a 0,025 milligrammi per chilogrammo di peso corporeo. Un adulto dovrebbe consumare più di 70 grammi di sale al giorno, e 19 grammi un bambino di 15 chilogrammi, per raggiungere questa soglia, una cosa impossibile con una dieta normale. Studi sui ratti, sui cani e persino sugli esseri umani con dosi giornaliere anche 100 volte superiori non hanno riscontrato problemi di tossicità.

Quando il ferrocianuro di potassio viene a contatto con gli ioni ferro si forma un bellissimo precipitato di color blu intenso. È il blu di Prussia. La paternità dell'invenzione di questo colorante, il primo sintetizzato in laboratorio, non è certa ma si pensa sia stato inventato a Berlino nel 1706 da Johann Diesbach, un alchimista produttore di pigmenti. Quel blu divenne popolare tra artisti e pittori, facendo ricchi i produttori poiché la ricetta per la sua preparazione rimase segreta per vent'anni. *La grande onda di Kanagawa* di Hokusai e *La notte stellata* di Van Gogh sono due famose opere d'arte caratterizzate da un uso massiccio del blu di Prussia.

Questa reazione un tempo era addirittura sfruttata nella produzione di vino, per togliere l'eccesso di ferro presente. Si aggiungeva il ferrocianuro, e il blu di Prussia, insolubile, veniva eliminato. L'affinità dello ione esacianoferrato per alcuni metalli è sfruttata anche a scopo medico: il blu di Prussia è infatti usato per trattare l'avvelenamento da tallio e per contrastare l'avvelenamento da cesio-137 radioattivo.

Niente grumi. Gli additivi al cianuro impediscono la formazione di grumi nel sale bloccando la crescita dei cristalli e riducendone la tendenza ad assorbire umidità.

BlakeDavidTaylor/iStock

Se non dobbiamo avere paura del sale, dobbiamo invece stare attenti ad altre fonti alimentari di cianuri. In piccole quantità i cianuri si trovano nei semi di alcuni frutti come albicocche (le armelline), mandorle amare e mele. Solitamente sono legati a zuccheri formando dei cianoglicosidi abbastanza instabili. Questi sì che sono pericolosi, e ogni tanto qualcuno finisce all'ospedale, ricoverato per avvelenamento, o peggio.

Se siete ancora titubanti, potete sempre sfruttare il vecchio metodo per evitare la formazione di grumi nei salini: aggiungete chicchi di riso. Assorbiranno l'umidità lasciando il sale sgranato.

di Rodolfo Clerico, Piero Fabbri e Francesca Ortenzio

Tra scacchi e Collatz

Il cavallo volante, bianco e immacolato come un novello Pegaso, disegna nell'aria un'ampia parabola prima di toccare terra. Il contatto con il suolo però è goffo, sbagliato, rovinoso: la parabola si rompe in frammenti di curve poco analitiche, spezzate sempre più piccole, accenni di catenarie, micro-iperboli, prima del silenzio immoto del punto fisso e tragicamente fermo. La donna, pallida come il manto dell'animale e con il cuore forse troppo provato alla vista di quel volo interrotto, cade anch'essa nel baratro, come corpo morto cade, in una stanca linea retta gravitazionalmente accelerata. Caduta contagiosa, perché frotte di personaggi, sconvolti dal dramma, tosto la seguono, e senza distinzione di ruolo, razza, colore. Precipitano edifici e vescovi, soldati e monarchi, come sospinti da un crudele, seppure indifferente e palesemente superiore artiglio delle tenebre.

«Sentite un po', voi due...», la voce di Rudy è calma e autorevole come al solito, anche se il grembiule a fiori e i guanti di gomma abbassano un po' l'usuale carisma del soggetto: «Anche se è il mio turno di lavare i piatti e avete pertanto tutta la libertà di dilettarvi come vi pare, vi avevo anche pregato di non essere troppo rumorosi, visto che stavo elaborando un gioco matematico. Invece, nonostante il lavaggio delle stoviglie sia azione tutt'altro che silenziosa di per sé, qua arrivano voci e rumori da far concorrenza a un corteo di protesta.»

Alice alza lo sguardo verso la soglia della cucina, un po' divertita dal look casalingo del solitamente inappuntabile matematico: «Hai ragione, GC... Doc e io avevamo deciso di farci una partitina a scacchi proprio perché è proverbialmente silenziosa. Solo che poi abbiamo cominciato a discutere un po' di democrazia sociale e scacchistica, Gaetanagnesi si è annoiata nel vedere che la partita non procedeva, e ha cominciato a scaraventare sul pavimento i pezzi...».

«Se conosco bene quella gatta – interloquisce Doc – più che per noia ha cominciato la strage dei pezzi per palesare il suo disgusto sul nostro livello di gioco.»

«Il rumore dei pezzi che cadevano per terra era assai meno fastidioso delle vostre vocette stridule, non provate a dare la colpa alla micia. Si può sapere che avevate da urlare?»

«Ma niente...– comincia Alice – all'inizio era solo una discussione sulla sorprendente vittoria di AlphaZero contro Stockfish, e...»

«...e parlare in modo che io possa capire qualcosa, no?»

«GC, trascuri gli scacchi da troppo tempo – dice Doc – Stockfish è il programma di scacchi che da anni era il più forte del mondo; AlphaZero l'algoritmo che recentemente lo ha battuto. La parte interessante è che l'approccio di AlphaZero è totalmente nuovo: niente librerie di aperture, niente banche dati o indizi di strategia, soltanto la capacità di migliorarsi da solo giocando molto. Una mattinata di intenso training giocando qualche miliardo di partite, ed ecco il risultato... Stockfish stracciato.»

«Oh... sembra davvero interessante. Immagino che gli studiosi di intelligenza artificiale siano tutti in fibrillazione... ma che c'entra questo con la rumorosa discussione che ne è seguita?»

«Ma niente, Capo – minimizza Alice – è solo che io dicevo che questo mostrava come fosse necessario di tanto in tanto rivedere le basi di ogni convinzione, convenzioni comprese: Stockfish viene usato anche per "giudicare" la posizione delle partite ufficiali tra esseri umani, ma possiamo fidarci, adesso? Non sarà il caso di rivedere qualcosa?»

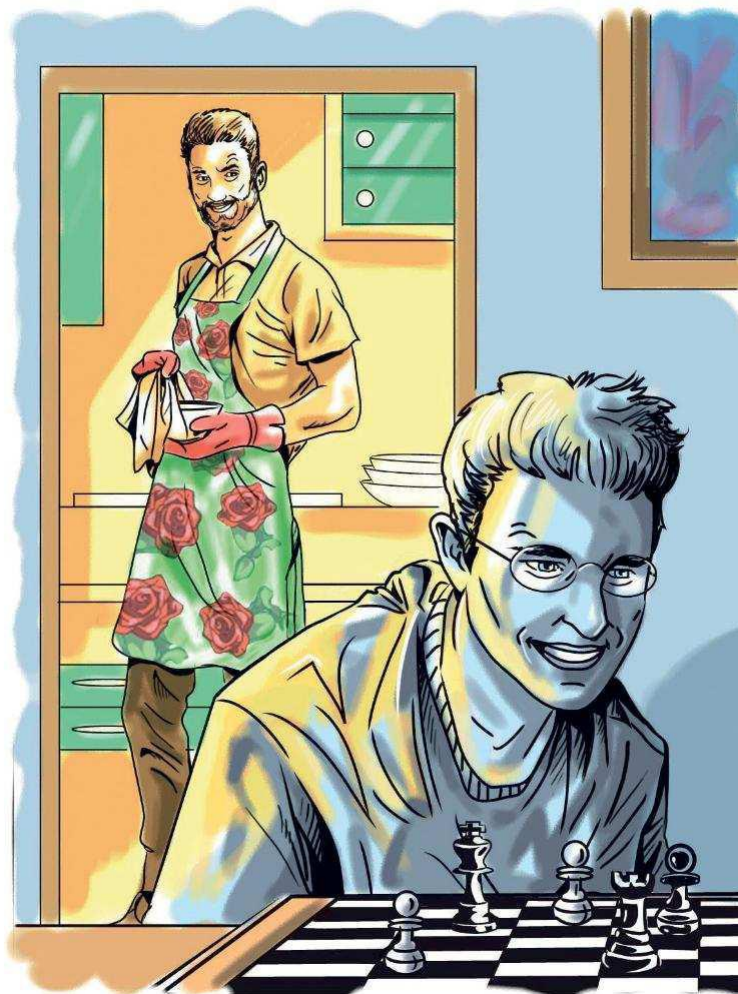



Illustrazione di Stefano Fabbri

«Sì, come no... hai cominciato così, ma poi ti sei divertita a partire per la tangente. Neghi forse di aver perfino tirato in ballo il valore etico e sociale che si otterrebbe se si lasciasse che ogni tanto fossero i Neri a muovere per primi?»

«Non lo nego certo! Là fuori è pieno di gente che ancora crede che i colori epidermici abbiano qualche significato etico o genetico; d'altra parte, tutti gli scacchisti concordano che avere il tratto iniziale è un oggettivo vantaggio, pari a venti centipedoni, e...»

«Centiché?»

«Centesimi di pedone, GC... la posizione iniziale è valutata dai motori scacchistici +0,20, dove l'unità è il pedone, mentre il "+" indica vantaggio per il bianco e "-" quello per il nero. E comun-

La soluzione del problema esposto in queste pagine sarà pubblicata in forma breve sul numero di aprile e in forma estesa sul nostro sito: www.lescienze.it. Potete mandare le vostre risposte all'indirizzo e-mail: rudi@lescienze.it.

Piotr e Alice litigano per una partita a scacchi e Rudy decide di placarli sfidandoli a un gioco simile

IL PROBLEMA DI FEBBRAIO

Il mese scorso si parlava di un artificioso ballo tra professori inizialmente disposti in cerchio, ognuno con un partner nella posizione diametralmente opposta alla sua. A ogni battuta delle 144 che compongono la danza, due prof adiacenti si scambiano di posto tra di loro finché, alla fine, ognuno si troverà nel posto inizialmente occupato dal partner; si chiedeva quanti fossero i ballerini.

Detto N, ovviamente pari, il numero dei docenti, si scelga a caso una posizione 1, e si numerino successivamente tutte le altre in senso orario. Come primo passaggio scambiamo le posizioni 1 e 2, poi 3 e 4, e avanti così per un totale di $N/2$ scambi: si noti che il professore originariamente in posizione 1 è ora in posizione 2. Come secondo passaggio, scambiamo le posizioni 2 e 3, poi 4 e 5, e così via, sempre per un totale di $N/2$ scambi: il ballerino inizialmente in posizione 1 ora è arrivato in posizione 3. I passaggi successivi siano identici al primo se di ordine dispari, al secondo se di ordine pari. Il professore inizialmente in posizione 1 si ritrova nella posizione che originariamente occupava il suo partner dopo $N/2$ passaggi; peraltro, la posizione iniziale è scelta arbitrariamente e la successione dei passaggi è sempre identica, il che implica che tutti i danzatori sono scambiati con il proprio partner. Tirando le somme, si vede che sono stati fatti $N/2$ passaggi, ognuno composto da $N/2$ scambi, per un totale di $N^2/4$ scambi: valore che le condizioni impongono essere pari a 144, e quindi $N = 24$. Si noti che l'imposizione di «scambio con il proprio partner» è quella che richiede il maggior numero di passaggi: qualsiasi altra permutazione delle posizioni richiederebbe un numero di passaggi comunque minore.

que, ribadisco il punto: convenzione per convenzione, perché non modificarne una ludica, se può contribuire all'eliminazione di un po' di idiozia razzista?»

«Oh, Treccia, bastasse davvero questo... – fa Rudy, togliendosi i guanti ed estraendo una pipa dallo zinale – ma l'intento è buono, e se migliorasse la testa di qualcuno anche solo di un epsilon, sarei disponibile a sottoscrivere. Del resto, nel mio piccolo, stavo proprio considerando un gioco la cui analisi è certamente molto più semplice di quella degli scacchi, ma che in qualche modo potrebbe uscire dal solito ritornello dei giochi completamente analizzati, quello che fa "il primo (più raramente il secondo) giocatore vince sempre seguendo questa strategia..."»

«E poteva non essere... l'unica cosa che Rudy sa fare meglio che inventare problemi è trovare scuse dialettiche per infilarli in mezzo ai discorsi.»

«Su Doc, non essere così negativo... questo gioco potresti analizzarlo anche tu. Forse.»

«Piantala, GC. Ormai ce l'hai fatta. Sputa il rospo.»

Un sorriso quasi invisibile increspa la bocca di Rudy: «È presto detto: si parte da un numero piuttosto grande: il primo giocatore ha a disposizione due coppie di regole. Se il numero è pari può "sottrarre uno" o "dividere per due", come preferisce: ma ovviamente solo una delle due operazioni. Se invece il numero è dispari, la scelta è tra "sottrarre uno" o "sottrarre uno e dividere per due". Poi passa il risultato all'avversario che potrà agire secondo le stesse condizioni. Chi riesce a dire "zero", ha vinto.»

«Somiglia pericolosamente alla Congettura di Collatz; ma non dovrebbero comparire dei cicli.»

«Certo che no, la successione è strettamente decrescente; il gioco finisce di sicuro.»

«Va bene, Alice e io ci giocheremo un po'... e dici che non c'è sempre un vantaggio certo per il primo giocatore?»

«Io dico solo di analizzarlo, prima di giocare... non credo che tu abbia la stessa capacità di imparare di AlphaZero.»

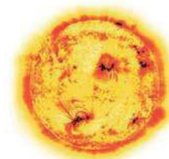
Perché la nostra stella è speciale

Viaggio al centro del Sole
di Lucie Green
il Saggiatore, Milano, 2018, pp. 285 (euro 26,00)

Nei disegni dei bambini, il disco solare circondato da una corona di raggi luminosi ha sempre il posto d'onore, a testimonianza di quanto istintivamente la nostra stella ci affascini. Leggendo nei libri di scienze che il Sole non ha nulla di speciale, vale a dire che è una stella nana gialla come un'infinità di altre nell'universo, molti di noi sono rimasti delusi e in parte increduli. Con questo libro la scienziata britannica Lucie Green mostra al lettore come sia possibile ritrovare il senso di meraviglia tipico della nostra infanzia proprio attraverso la scienza e tutto quello che ci può raccontare del Sole.

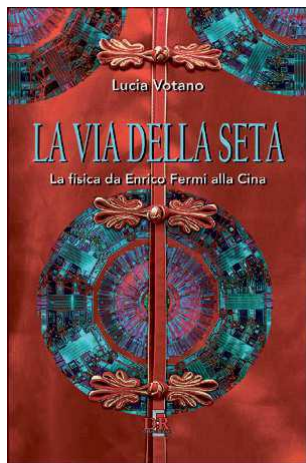
Fin dalle prime pagine è chiaro come l'autrice sia innamorata dell'oggetto delle sue ricerche. Studiosa di lungo corso della fisica solare, riesce a comunicare la passione che nutre per il Sole e a trasmettere l'idea che non ci sia nulla di scontato o banale nella stella alla quale, di fatto, dobbiamo tutto, perché si tratta della principale responsabile delle condizioni che rendono possibile la vita sulla Terra. Allo stile «caldo» e coinvolgente che caratterizza l'esposizione, si somma un'impostazione funzionale alla comprensione anche da parte di chi è completamente digiuno della materia. Consapevole del fatto che parlare del Sole equivale a ripercorrere la storia delle conquiste più importanti e complesse della fisica, l'autrice si mette al posto del lettore e ne guida il percorso partendo dalle prime domande che tutti si pongono sulla natura della luce e di questa stella e, procedendo per gradi, segue gli interrogativi che ogni risposta porta con sé. Il circolo virtuoso così innescato ha la piacevole conseguenza di ricordare che persino dalle osservazioni più semplici possono nascere interessanti occasioni per capire.

Conoscere il Sole vuol dire seguire un percorso che dalle prime, pericolosissime, osservazioni a occhio nudo ha attraversato l'era dei viaggi spaziali fino a giungere ai progetti avveniristici attualmente in preparazione (a uno dei quali, il Solar Orbiter dell'Agenzia spaziale europea, lavora la stessa autrice). Tra le pagine del saggio si racconta, quindi, anche questa storia avvincente, punteggiata dalle figure di uomini curiosi e in grado di pensare fuori dagli schemi, ai quali dobbiamo le nostre attuali conoscenze.

Non mancano, nel gruppo, anche grandi scienziate, sebbene la storia sia ancora restia a tributare loro i giusti onori. È, per esempio, il caso di Cecilia Payne, alla quale si deve la comprensione dei giusti rapporti tra gli elementi nella composizione del Sole. In un'epoca in cui l'*establishment* scientifico era certo che nel Sole i diversi elementi rispettassero le stesse proporzioni rilevabili sulla Terra, Payne ha il coraggio di sostenere una teoria diversa. Le innovative ricerche che aveva effettuato le suggerivano che il Sole fosse composto soprattutto di idrogeno e di elio, mentre ferro, ossigeno e silicio, abbondantissimi sul nostro pianeta, rappresentavano meno del due per cento della composizione della nostra stella. «Le sue osservazioni hanno cambiato il nostro modo d'intendere l'universo», nota Green, che conclude con amarezza: «Mi sorprende sempre che il nome di Cecilia venga citato così di rado».

Di storia in storia, di scoperta in scoperta, il cerchio si chiude con la domanda da cui tutto era partito: alla fine dei conti, quanto è speciale questa nostra stella? Presenta forse caratteristiche che la rendono un *unicum* nell'universo? L'ultima parte del saggio è dedicata proprio a dimostrare che nel Sole non accade nulla di diverso rispetto a molte altre stelle. Eppure questo non lo rende meno speciale. È proprio ponendosi domande su di esso che la fisica è oggi arrivata ad abbracciare un patrimonio di conoscenze in continua crescita. Abbiamo compreso e imparato tanto, eppure siamo solo all'inizio del nostro percorso e ciò che si prospetta per gli scienziati del futuro non è meno affascinante della strada che abbiamo alle spalle.

E dal momento che tutto parte da una mente intelligente che osserva e si interroga, Green conclude con una nota su come costruirsi da soli un proiettore a foro stenopeico, un semplicissimo strumento per osservare il Sole senza mettere a rischio la vista e, di fatto, un piccolo biglietto d'ingresso per il teatro della fisica sperimentale.

Anna Rita Longo

Il futuro della fisica di base è in cammino verso la Cina

La via della seta
di Lucia Votano
Di Renzo Editore, Roma, 2017
pp. 136 (Euro 12,50)

Nell'antichità, la «via della seta» era il lungo itinerario che permetteva gli scambi commerciali fra l'Impero romano e l'estremo Oriente. Ora, secondo Lucia Votano, lungo questa strada si sta incamminando la ricerca in fisica di base. E lo afferma da testimone diretta di questo passaggio. Il libro è un'autobiografia scientifica, in cui Votano ripercorre la sua importante carriera di ricercatrice di fisica, spiegando in parole semplici i temi che di volta in volta ha affrontato, ma tratteggiando anche il contesto storico in cui si svolgeva quella carriera. Così, il racconto di una ragazza nata in Calabria, che per passione della fisica si trasferisce prima a Roma per studiare con Edoardo Amaldi e poi al CERN di Ginevra, diventa anche l'occasione per descrivere l'Italia del dopoguerra, il tentativo di intraprendere una «via italiana al nucleare», fatto fallire con l'arresto di Felice Ippolito, all'epoca segretario generale del Comitato nazionale per l'energia nucleare, e via discorrendo fino ad arrivare ai giorni nostri.

Votano è stata la prima direttrice donna dei Laboratori nazionali del Gran Sasso dell'Istituto nazionale di fisica nucleare, e ha dedicato gran parte delle sue ricerche allo studio dei neutrini, dei quali ha contribuito a evidenziare in maniera diretta il fenomeno dell'oscillazione, previsto nel 1957 da Bruno Pontecorvo. Ed è proprio a partire dallo studio dei neutrini che, secondo l'autrice, l'Europa rischia di perdere il primato nella fisica di base, superata dalla Cina, che sta allestendo l'esperimento JUNO (a cui la Votano collabora) e che sta acquisendo un ruolo sempre più di rilievo nella ricerca scientifica. E per il Vecchio Continente sarà difficile reggere il passo.

Emiliano Ricci

L'evoluzione comunicativa ai tempi di Internet

Scimmie digitali
di Paolo Artuso e Maurizio Codogno
Armando Editore, Roma, 2018,
pp. 16 (euro 15,00)

Non c'è dubbio: le scimmie del titolo siamo noi, gli esseri umani; e anche se i tempi che viviamo ci fregiano dell'aggettivo «digitali», questo non addolcisce il giudizio di fondo. È la tesi centrale di questo libro: sebbene la maggior parte degli analisti saluti l'avvento della rete come la maggiore rivoluzione della storia, Paolo Artuso e Maurizio Codogno preferiscono una posizione minoritaria, ovvero quella delle persone che credono che, nonostante l'innegabile progresso tecnologico, la natura degli esseri umani non muti se non con passi assai più lenti. Va precisato che gli autori sono ben lontani dal propugnare una sorta di luddismo, tutt'altro: forti di studi scientifici e filosofici e soprattutto di una conoscenza di Internet che risale ai primi vagiti del Web italico, argomentano la tesi con perizia, dividendo il testo in tre parti.

La prima, «La matematica della rete», fornisce gli strumenti essenziali per la comprensione del Web; segue una sezione, «Alle origini della rete», in cui si ricostruisce il ruolo certo non trascurabile che, fin dall'inizio, hanno avuto le pulsioni emotive nell'evoluzione di Internet. La parte finale, «Filtri, occhiali, lenti d'ingrandimento e visioni del mondo», si assume il compito di mostrare i limiti e soprattutto i rischi della rete. La conclusione, in fondo, appare tutt'altro che pessimistica: se le chiacchiere da bar sono davvero, come sostengono alcuni, la naturale evoluzione dei gesti comunicativi dei nostri ancestrali progenitori, allora la frenetica compulsione di tasti sui *social* è certo l'ulteriore – ma altrettanto naturale – evoluzione comunicativa. La rivoluzione del cuore e del cervello non è veloce come la tecnologia, tuttavia non è detto che questo sia un male.

Piero Fabbri

Un mondo (animale) di inganni

Non di rado nel mondo animale l'inganno è l'unica opzione possibile per sopravvivere. Una scelta quasi obbligata che nei lunghi tempi dell'evoluzione ha portato al mimetismo, un fenomeno tra i più affascinanti, in cui nulla è come sembra. Gli animali assumono forme e colori dell'ambiente in cui sono immersi per sfuggire a predatori, o, al contrario, esasperano i propri colori nella speranza di apparire ai nemici assai più temibili di quanto in effetti sono. Al mimetismo nel mondo animale è dedicata Kryptòs, una mostra al Museo di storia naturale «Giacomo Doria» di Genova, che sarà possibile visitare fino settembre. Kryptòs racconta il fascino dell'inganno con una selezione di animali vivi – rane variopinte, camaleonti, gechi, insetti foglia, mantidi e ragni – ospitati in terrari che riproducono l'ambiente naturale delle specie. La mostra è divisa in tre sezioni: nella prima si esaminano gli adattamenti messi a punto dagli animali per scomparire nei rispettivi ambienti; la seconda si focalizza su colorazioni di avvertimento e forme di inganno; la terza, considera la visione del mondo da parte degli animali per spiegare curiose livree. Per informazioni: www.museidigenova.it/it/content/museo-di-storia-naturale. (*cb*)

SensorSpot/iStock

1918
L'influenza spagnola
di Laura Spinney
Marsilio, Venezia, 2018,
pp. 348 (euro 19,00)

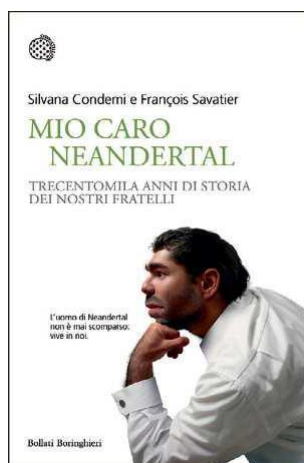
Quando una pandemia uccide come due guerre mondiali

Risparmiò solo l'Antartide, mentre ogni altro angolo della Terra fu travolto dall'influenza spagnola. Bastarono 13 settimane, tra metà settembre e metà dicembre 1918, perché l'epidemia facesse il giro del mondo: un essere umano su tre finì a letto, cioè 500 milioni di persone, e tra i 50 e i 100 milioni non si rialzarono più.

Laura Spinney, giornalista scientifica e collaboratrice di «National Geographic», «The Economist» e «Nature», ricostruisce questa storia in un lungo saggio appassionante e originale, in cui tenta la sintesi dei tanti punti di vista con i quali è già stata raccontata. Quindi non solo epidemiologia o storia della medicina, ma una descrizione globale fatta di ritratti che «illuminano la natura profondamente sociale della pandemia».

L'autrice lascia subito spiegare ai numeri che non si tratta di un'esagerazione. L'influenza spagnola è stata la più grande ondata di morte dai tempi delle epidemie medievali. E la maggiore tragedia del Novecento, capace di causare più morti della guerra allora in corso (la prima guerra mondiale, 17 milioni di morti) e della successiva (la seconda guerra mondiale, 60 milioni di morti) e forse anche di tutte e due insieme. Se la conosciamo poco, e tendiamo a sottovalutarla, è perché fu molto concentrata nel tempo ma molto estesa nello spazio, e perché comunque in Europa c'era la guerra. Ma anche perché si moriva soprattutto a casa: dunque la memoria della tragedia non è una memoria collettiva, ma sono milioni di memorie private che il tempo ha disperso.

L'autrice ne recupera alcune, e raccontandole non manca di ricordare al lettore del 2018 come fossero il mondo e la vita quotidiana un secolo fa, e che cosa la scienza sapesse (molto poco) dell'influenza e delle malattie infettive. Nasce così un intreccio ben ritmato tra la storia della propagazione della malattia e quella di testimoni e malati. Come il contadino giapponese Keishirú, che probabilmente è stato l'ultimo a prendersi l'influenza nel 1920, dopo che il virus aveva fatto più volte il giro del mondo, o come il giovane Pedro Nava che, sopravvissuto, cresciuto e diventato storico della medicina, descrisse con vividi dettagli la propria malattia e quella degli abitanti di Rio de Janeiro. Tutto questo è possibile, spiega Spinney, perché da una ventina di anni la spagnola è oggetto di studio anche da parte di economisti, sociologi, psicologi sociali ed è possibile uno sguardo di sintesi della pandemia e delle conseguenze che ha avuto sulla storia del Novecento.

Silvia Bencivelli

Mio caro Neandertal
di Silvana Condemi e François Savatier
Bollati Boringhieri, Torino, 2018,
pp. 220 (euro 24,00)

La parabola dei nostri cugini neanderthaliani

Chi era davvero il Neanderthal? Poche certezze, molte estrapolazioni e numerose ipotesi affascinanti. Sappiamo per esempio che aspetto fisico aveva: mediamente più basso e tozzo («tracagnotto», viene definito in questo libro), dotato di forte muscolatura, il cranio contraddistinto da sopracciglia sporgenti e allungato posteriormente, il mento sfuggente. Certo non «scimmiesco» come raffigurato per molto tempo. Anzi, adattandosi ai climi rigidi delle glaciazioni, aveva con ogni probabilità evoluto tratti che oggi troviamo nei nord-europei: capelli castani o rossicci, occhi e carnagione chiara. Lo sappiamo anche grazie al lavoro dei genetisti che hanno sequenziato tratti di DNA ottenuto dai fossili. I risultati hanno permesso anche di chiarire i rapporti intercorsi con *H. sapiens*: non uno scontro di civiltà, ma piuttosto un'assimilazione graduale legata all'espansione demografica della nostra specie.

L'incontro con *H. sapiens* si è tradotto in una possibilità di sopravvivenza dei geni neanderthaliani attraverso l'incrocio fra le due specie di umani – fecondo solo tra uomo *H. sapiens* e donna Neanderthal – tant'è che oggi noi europei e gli asiatici «ospitiamo» una quantità rilevante (tra l'1 e il 4 percento) di DNA nucleare neanderthaliano.

L'ibridazione tra le due specie sarebbe avvenuta prima nel Vicino Oriente per poi proseguire in Eurasia fino a 45.000 anni fa. La contaminazione genetica è andata in parallelo con la diffusione di nuove pratiche culturali, accelerando l'innovazione – più lenta e regolare – dei Neanderthaliani. Ciò da un lato riconosce una delle peculiarità di *H. sapiens*: l'esplosività della nostra specie, che in pochi decine di millenni letteralmente inonda geograficamente e culturalmente tutto il mondo. Dall'altro, però, sancisce che le capacità cognitive dei Neanderthal erano paragonabili a quelle dei nuovi arrivati, e quindi in grado di apprendere le nuove tecniche e le innovazioni culturali portate da *H. sapiens*.

Il libro paragona questo processo all'incontro tra gli europei e le etnie definite «primitive» avvenuto negli ultimi due secoli: un processo che non è stato solo conflitto e sterminio, ma anche assimilazione (più o meno forzata) culturale, in particolare per ciò che determina vantaggi (per esempio, strumenti più efficaci). I due autori (lei paleoantropologa, lui giornalista scientifico) di questo libro affascinante e scientificamente rigoroso, insistono molto su questo aspetto, chiedendo rispetto per i nostri fratelli e sorelle neanderthaliani. Magari evitando che prendano piede certe idee da film, come la clonazione di Neanderthal a partire da DNA antico.

Mauro Capocci

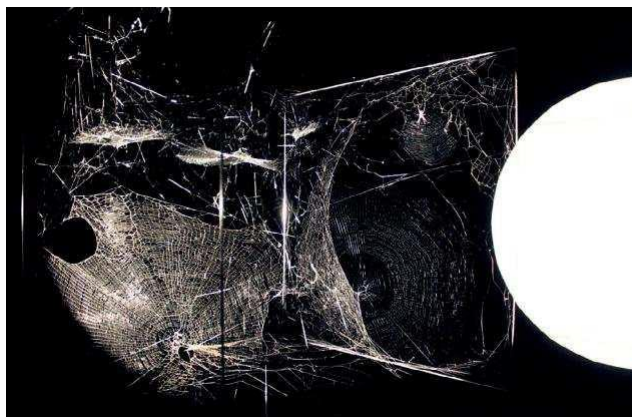
Il cosmo creativo

Al MAXXI di Roma una mostra indaga le connessioni tra scienza e arte con uno sguardo sull'universo a partire dalla teoria generale della relatività di Albert Einstein

Se qualcuno non fosse ancora convinto della superficialità della divisione tra arte e scienza, magari anche dopo aver visitato la mostra padovana sul Galileo critico d'arte e pittore, potrebbe cambiare idea nel cuore di *Gravity*. Una vera e propria costellazione di opere di Tomás Saraceno, un artista argentino abituato a confrontarsi con la tecnologia e la scienza, che permette al visitatore di immergersi in una serie di fenomeni fisici, dando una forma concreta all'invisibile che regola l'universo. Sfruttando audio e video, *Echoes of the Arachnid Orchestra with Cosmic Dust* rende percepibile la polvere cosmica in cui siamo immersi. Grazie a speciali microfoni, i suoni prodotti dal ragno *Nephila senegalensis* mentre tesse la propria tela, sono visibili tramite un interferometro modificato dall'artista.

È solo un assaggio delle esperienze multisensoriali della mostra, curata da Luigia Lonardelli del MAXXI di Roma, Vincenzo Napolano dell'Istituto nazionale di fisica nucleare, e Andrea Zanini dell'Agenzia spaziale italiana. L'idea è scavare in quell'incrocio di creatività, paziente ricerca e lavoro intellettuale che da un secolo ha profondamente cambiato il nostro modo di guardare a quello che ci circonda, almeno da quando Albert Einstein, che qui assume ancora una volta il ruolo di un mito fondativo per una narrazione della fisica novecentesca, ha pubblicato la sua teoria della relatività generale. Abbiamo mandato la sonda Cassini, il cui modello è sospeso nella hall del MAXXI, a tuffarsi per 22 volte negli anelli di Saturno. Ma abbiamo anche imparato che per guardare l'universo, a volte, serve andare sott'acqua, come accade con il telescopio Km3net che da 3500 metri di profondità di fronte a Capo Passero, in Sicilia, rileverà i neutrini. E siamo riusciti a osservare il passato violento della Grande nube di Magellano, come mostra il video *163.000 Light Years* in mostra.

Il percorso espositivo non dimentica le spalle dei giganti su cui la conoscenza più recente si posa, qui rappresentata da un'edizione seicentesca del *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo* di Galileo e dal cannocchiale dello stesso Galileo o da una sfera armillare, che dialogano con opere di artisti come Marcel Duchamp, Peter Fischli e David Weiss, che a loro volta parlano con modelli di esperimenti e dispositivi tecnologici, in una dimostrazione della connessione tra diverse branche creative dell'attività umana.

Marco Boscolo

Arte e scienza contemporanee. Sopra e accanto l'installazione *Aeroke* di Tomás Saraceno e un modello dell'antenna della sonda Cassini. In alto, l'installazione *Echoes of the Arachnid*, sempre di Saraceno.

Cortesia Maxxi (*foto in basso*); cortesia Cecilia Fiorenza/MAXXI (*foto in alto e al centro*)

Dove & quando:

Gravity
Fino al 19 aprile 2018
al Museo nazionale delle arti del XXI Secolo - MAXXI
Via Guido Reni 4A, Roma
www.maxxi.art

L’origine dei buchi neri supermassicci

di Priyamvada Natarajan

Osservando l’universo antico si vedono i quasar, oggetti estremamente luminosi alimentati da enormi buchi neri. Ma come hanno fatto buchi neri così grandi a formarsi rapidamente dopo il big bang? Forse, anziché nascere dalla morte di enormi stelle, i semi dei più antichi buchi neri supermassicci potrebbero essersi formati direttamente dal collasso di nubi di gas.

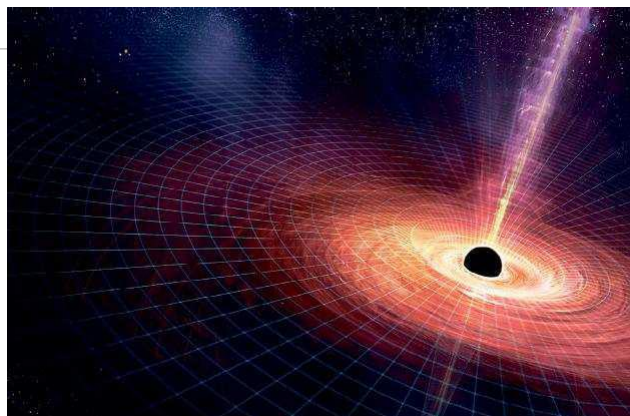
Gli smartphone e il cervello adolescente

di Matthew Fisher, Joshua Knobe, Brent Strickland e Frank C. Keil

È facile dare la colpa dei problemi degli adolescenti ai dispositivi digitali. Ma alcuni effetti preoccupanti degli smartphone potrebbero essere legati, per esempio, a meno ore di sonno, e non alle applicazioni in sé. E altre difficoltà, come l’incertezza economica, sono implicate nell’aumento dell’ansia più dei cellulari.

Addio alle piattaforme

di Alfonso Lucifredi

Dopo un periodo di interesse dei media e del pubblico dovuto al referendum, gli impianti offshore per l’estrazione di gas e petrolio nei mari italiani sono ricaduti nel dimenticatoio. Ma, anche se le concessioni estrattive proseguono, tutte le piattaforme hanno un periodo di attività limitato. Qual è la situazione attuale?

LE SCIENZE S.p.A.

Sede legale: Via Cristoforo Colombo 90, 00147 ROMA.

Redazione: tel. 06 49823181
Via Cristoforo Colombo 90, 00147 Roma
e-mail: redazione@lescienze.it
www.lescienze.it

Direttore responsabile
Marco Cattaneo

Redazione
Claudia Di Giorgio (*caporedattore*), Giovanna Salvini (*caposervizio grafico*), Andrea Mattone (*grafico*), Cinzia Sgheri, Giovanni Spataro

Collaborazione redazionale
Folco Claudi, Gianbruno Guerrerio
Segreteria di redazione: Andrea Lignani Marchesani
Progetto grafico: Giovanna Salvini

Referente per la pubblicità
A. Manzoni & C. S.p.A.
agente Daria Orsi (tel. 02 57494475, 345 4415852)
e-mail dorsi@manzoni.it

Pubblicità:
A. Manzoni & C. S.p.A.
Via Nervesa 21, 20139, Milano, telefono: (02) 574941

Stampa
Puntoweb, Via Variante di Cancelliera, snc, 00040 Ariccia (RM).

Consiglio di amministrazione
Corrado Corradi (presidente), Michael Keith Florek (vice presidente), Gabriele Acquistapace, Markus Bossle, Stefano Mignanego

Responsabile del trattamento dati (D. lgs. 30 giugno 2003 n.196):
Marco Cattaneo

Registrazione del Tribunale di Milano n. 48/70 del 5 febbraio 1970.

Rivista mensile, pubblicata da Le Scienze S.p.A.
Printed in Italy - febbraio 2018

ISSN 2499-0590

SCIENTIFIC AMERICAN

Editor in Chief and Senior Vice President
Mariette DiChristina

President
Dean Sanderson

Executive Vice President
Michael Florek

Hanno collaborato a questo numero
Per le traduzioni: Francesca Bernardis: *L’abisso tossico della solitudine*; Paolo Cocco: *Quando i serpenti impararono a strisciare*; Elisa Dalgo: *In guerra contro se stessi*; Eva Filoramo: *Possiamo salvare i coralli?*; Daniele Gewurz*: Alla ricerca della materia oscura*; Alfredo Tutino: *Il futuro del denaro, Quando salta il banco, Il mondo creato dal Bitcoin, L’evoluzione della fiducia.*

ABBONAMENTI E ARRETRATI
GEDI Distribuzione S.p.A.
Casella Postale 10055 - 20111 Milano
Abbonamenti: abbonamentiscienze@somedia.it
Arretrati e prodotti opzionali: lescienzevendite@somedia.it
Ufficio abbonamenti e Servizio Grandi clienti
Tel. 0864.256266
Fax 02 26681991

Italia	
abb. annuale	€ 39,00
abb. biennale	€ 75,00
abb. triennale	€ 99,00
copia arretrata	€ 9,00
Estero	
abb. annuale Europa	€ 52,00
abb annuale Resto del Mondo	€ 79,00

FIEG — ads Accertamento Diffusione Stampa

Accertamento diffusione stampa certificato n. 8467 del 21/12/2017

Mark Ross (*buco nero*); Getty Images (*piattaforma*)